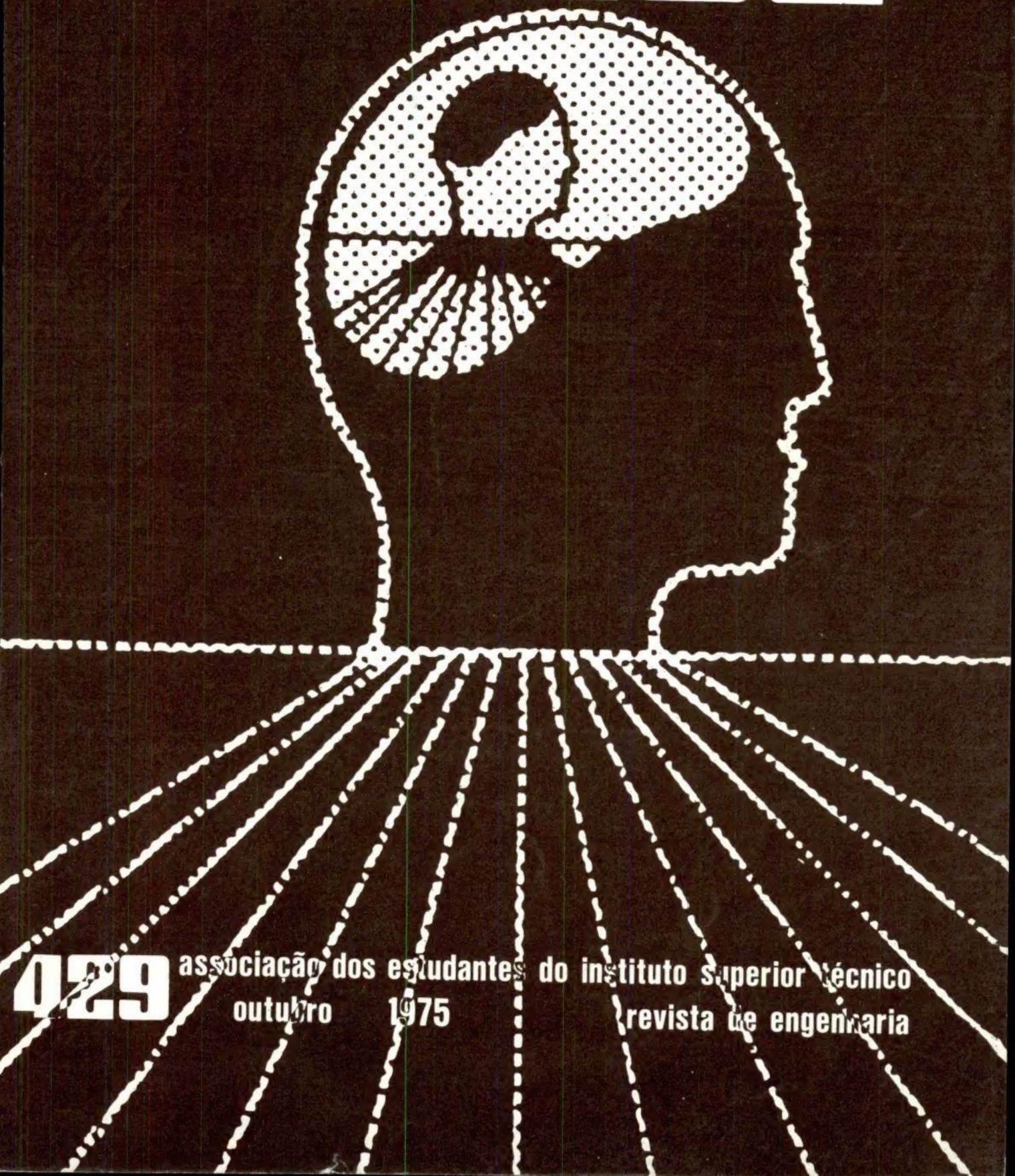
técnica



029

associação dos estudantes do instituto superior técnico

outubro 1975

revista de engenharia

Topografia Geral

2.º VOLUME

Pelo Engenheiro

A. C. XEREZ

Preço de cada volume

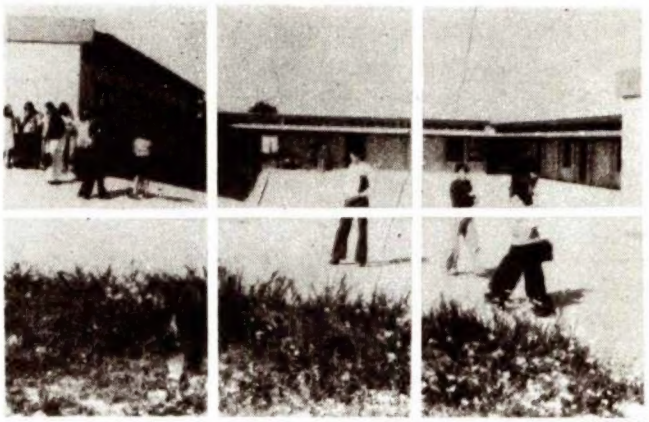
180$00

•

Desconto: 10% aos assinantes

Pedidos à Técnica

PRÉ-FABRICAÇÃO
em betão



MOITA

EDIFÍCIOS ESCOLARES
HABITAÇÃO SOCIAL
ESCRITÓRIOS
FÁBRICAS
MORADIAS
ETC.

materiais novobra

Fábricas em: Lisboa, Leiria, Lagoa, Guarda, Moita, Luanda e Lourenço Marques
Stands de exposição em: Aveiro, Évora e Faro
Sede: Av. Est. Unidos da América, 100, 5.º - Dto. - Lisboa 5
Telefones - Serviços Administrativos: 77 48 32 - 77 29 53 · Telex: 18375 Novoba P
Serviços Técnicos: 71 41 16/7/8 - 71 93 31/2

CONSTRUA COM CONFIANÇA - CONSULTE-NOS

electroarco

ELECTRO-ARCO, S.A.R.L.

- FABRICANTE DE ELÉCTRODOS E ARAME PARA SOLDADURA AUTOMÁTICA
- EQUIPAMENTO PARA SOLDADURA ELÉCTRICA E OXI-ACETILÉNICA
- ACESSÓRIOS

★

MATERIAL APROVADO POR
AMERICAN BUREAU OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
DET NORSKE VERITAS
GERMANISCHER LLOYD
INSTITUTO DE SOLDADURA
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

★

SEDE, FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Rua Vice-Almirante Azevedo Coutinho, 4
VENDA NOVA — AMADORA
Telefs. 97 63 21 - 97 17 33 - 97 64 71 - 97 06 13
DELEGAÇÃO NO NORTE
Rua Delfim Ferreira, 525
PORTO
Telef. 6 21 24

BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA LISBOA

OFERTA

técnica

NÚMERO 429 OUTUBRO DE 1975 ANO L VOLUME XXXVII PUBLICAÇÃO MENSAL

DIRECTOR

Delmar Baptista

COLABORADORES

António Maria da Fonseca

José Agostinho Marques

Jorge Braz

Armando Ruano

Manuel M. S. Anastácio

DIRECÇÃO REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO

Av. Rovisco Pais, I. S. T. — Lisboa
Telefone 72 93 23

PROPRIETÁRIO

A. E. I. S. T.

★

ASSINATURAS:	5 n.os	10 n.os
Continente e ilhas	140$00	250$.
Países de língua Portuguesa e Espanha	150$00	270$.
Estrangeiro	—	300$.
Número avulso ...	—	35$.

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

★

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO:
MOVIGRÁFICA
Rua do Espírito Santo, 19-A - Odivelas

SUMÁRIO

1 — ANTÓNIO GOUVÊA PORTELA — *Do conhecimento e da acção.*

About knowladge and action.

13 — F. LACERDA E MEGRE e L. VEIGA DA CUNHA *Utilização de modelos aerodinâmicos no estudo de problemas fluviais.*

The use of air-flow models for studying river problems.

25 — M. TERESA PONTES — *Sobre a aplicabilidade dum modelo à previsão da poluição atmosférica.*

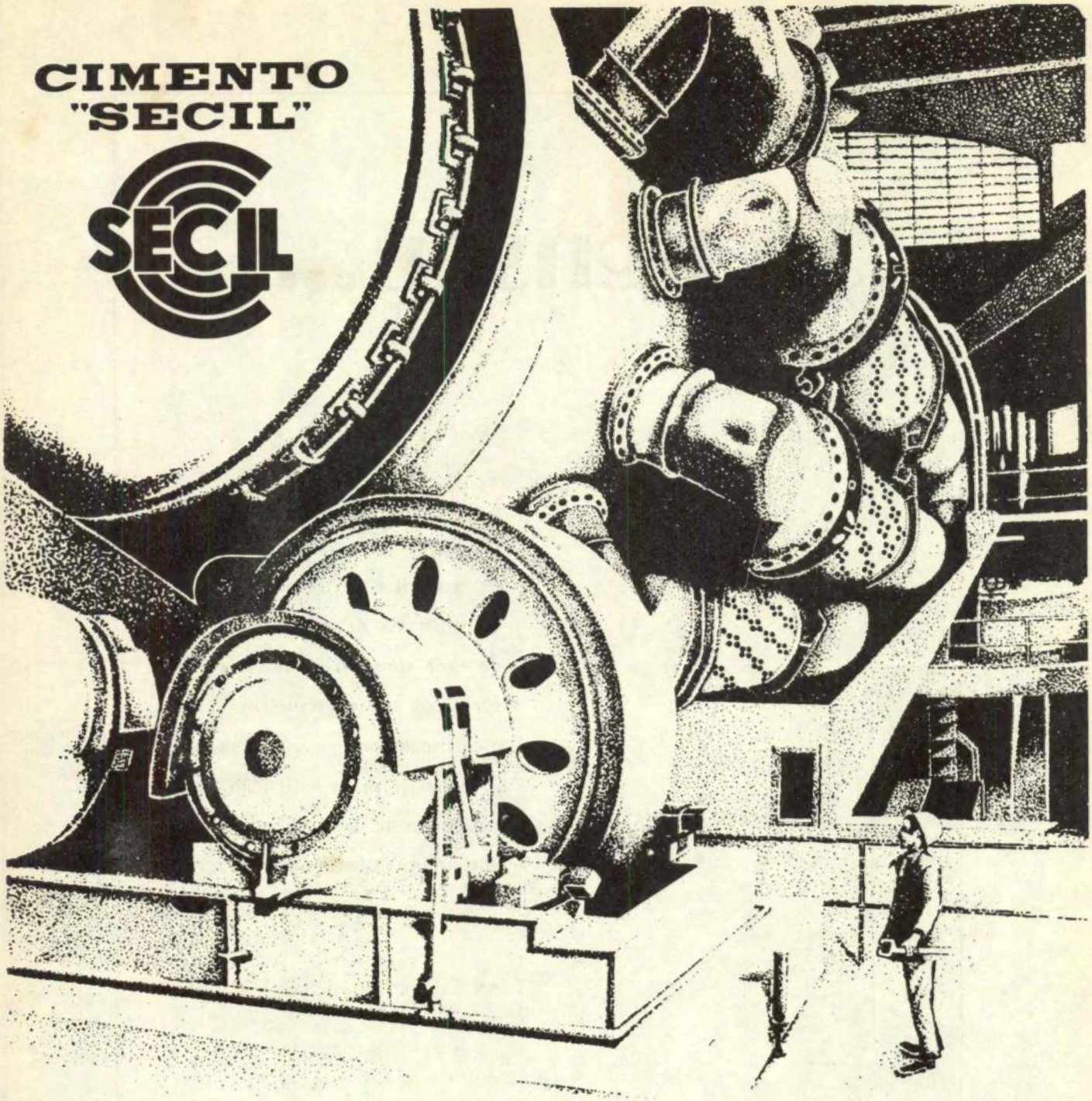
A note on the aplicability of a mathematical model to the prediction of atmospheric pollution.

33 — C. A. C. SEQUEIRA — *Electrochemical basis of metallic corrosion in melts.*

Bases electroquímicas da corrosão metálica em misturas fundidas.

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
Aguiar & Melo, Lda.	XVI
Cimento Secil	I
Construções Técnicas	XII
EFACEC	XIII
Electro-Arco, Lda.	2.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	X
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	IX
Fanafel	IX
Ferrunil	IV
Johann Keller	XI
MAGUE	VII
Novobra, Lda.	2.ª da capa
ROMAR	XIV
Rotring	V
Soc. Electricidade Brown Boveri	XV
Sociedade Portuguesa Cavan . .	IV
S. K. F., Lda.	III
Sondagens e Fundações A. Cavaco	IV
SOREFAME	VIII



CIMENTO "SECIL"

qualidade do produto - qualidade do serviço

FÁBRICA
OUTÃO - SETÚBAL - telfs: 288 04 24 - 2 38 83

LISBOA
Av. Cons. Fernando de Sousa, 19 - 18º - telf: 65 54 31..... telex: 12114 SECIL

PORTO
R. do Ouro, 1032 - telf: 60641

SECIL

Já pensou...

... que o seu anúncio
é muito eficaz se for
publicado na revista que
os seus clientes lêem?
Os milhares de exemplares
de cada número da nossa revista
são lidos por engenheiros
e técnicos, por pessoas ligadas
à indústria, à investigação, ao
ensino, pelos seus clientes,
em suma. Consulte-nos

técnica REVISTA DE ENGENHARIA

Avenida Rovisco Pais • Lisboa 1 • Telef. 72 93 23

SKF

A SKF não tem apenas rolamentos de esferas e de rolos .

Temos também rolamentos de agulhas

rótulas e embutes .

Evidentemente, temos do mesmo modo toda a espécie de acessórios para rolamentos.

Além disso a SKF fabrica muitos outros produtos de qualidade.

Rodas e carretos cónicos, por exemplo

Fusos roscados de rolamento de alta precisão que transformam o movimento de rotação em linear.

Fabricamos também machos cassonetes

e brocas .

O mesmo se passa com pontos rotativos .

E muitos sabem que também temos um bom Serviço Técnico.

SOCIEDADE SKF LIMITADA

LISBOA - PRAÇA DA ALEGRIA, 66-A
TELEF.: 362301 - TELEGR.: ESKAEF - TELEX: 12156

PORTO - RUA DELFIM FERREIRA, 604
TELEF.: 692054 - TELEGR.: ESKAEF

Av. Visconde Valmor, 76-1.º - Tel. 766014 (7 linhas) Lisboa-1

FERRUNIL
CONSTRUÇÕES METÁLICAS INDUSTRIAIS, LDA

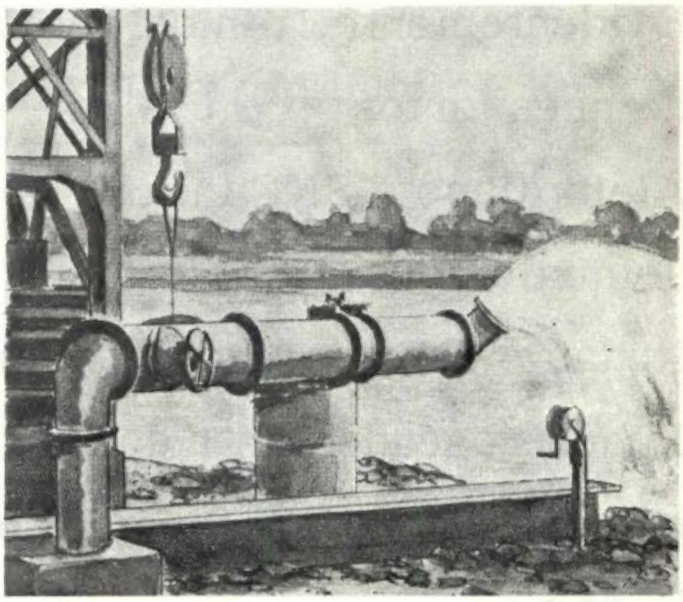
ESTRUTURAS - RESERVATÓRIOS
VIGAMENTOS - SILOS
PONTES ROLANTES
EQUIPAMENTO INDUSTRIAL

COBERTURAS PARA:
ARMAZÉNS
UNIDADES INDUSTRIAIS
HANGARES
PAVILHÕES DESPORTIVOS, ETC.

FÁBRICA:
Trajouce 244 0230
244 0256

ESCRITÓRIOS:
Av. Elias Garcia, 162, 2º E(L1) *77 77 96
*77 77 97
*77 75 29
LISBOA *77 26 35

Água: eis o que lhe oferecemos!



- Pesquisas e captações de água
- Estudos hidrogeológicos
- Sondagens e Fundações
- Rebaixamento de níveis aquíferos

ACAVACO

R. Rodrigo da Fonseca, 62, r.c-Esq. - Lisboa-1
Tel. 56 11 71/2/3/4

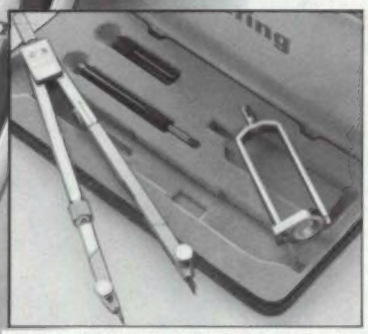
INFORMAÇÃO rotring

O círculo de precisão rotring

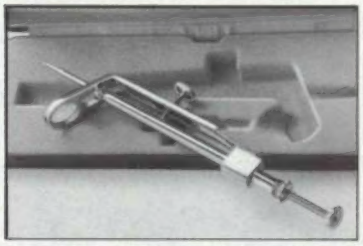
COM COMPASSOS DE PRECISÃO ROTRING
Caso pretenda traçar círculos de precisão, então necessita dum compasso de precisão. Dum compasso extraordinário. Dum compasso facilmente regulável e que não oscile. Com um comando de simetria exacto. Para um trabalho sem esticões. Para círculos mínimos até 0,7 mm de diâmetro — neste caso recomendamos o compasso de círculos mínimos RP 06. E para círculos grandes até 530 mm de diâmetro. Agora, em poucos segundos pode passar-se da mina para a tinta-da-china ou vice-versa.

1. COMPASSO DE AJUSTE RÁPIDO RP 01 ROTRING
Um compasso realmente confortável para técnicos que exijam uma precisão máxima. Com ajuste micrométrico. Emprego facílimo: desengatar o parafuso micrométrico, fixar a perna do compasso na posição desejada — dar um ajuste ao parafuso micrométrico — e o compasso RP 01 está bem ajustado. A superfície deste extraordinário compasso é cromada e muito brilhante.

Art. No. 532 101 (com alongador, porta-lápis e pontas secas)



2. COMPASSO TÉCNICO RT 04 ROTRING
Um compasso com peça intermutável em forma de U, em que se coloca a ponteira de tinta-da-china, podendo esta, no entanto, mover-se. Dois segmentos dentados, encaixando exactamente um no outro, garantem uma simetria precisa (não há oscilação). Na perna da ponta seca encontra-se um alongador telescópio. A superfície do compasso é cromada e baça.
Art. No. 531 104



3. COMPASSO DE CÍRCULOS MÍNIMOS RP 06 ROTRING PARA PONTEIRAS DE TINTA–DA–CHINA
Distribuição ideal do peso devido à localização do centro de gravidade no eixo central. Com este compasso pode traçar com toda a precisão e limpeza círculos mínimos até 0,7 mm de diâmetro devido à não-oscilacão da forte mola de lâmina.
A superfície do compasso é cromada e de elevado brilho.
Art. No. 532 106

Quem trabalha com precisão necessita de instrumentos de precisão.

rotring-werke Riepe KG, D-2 Hamburg 54, P.O. Box 541060

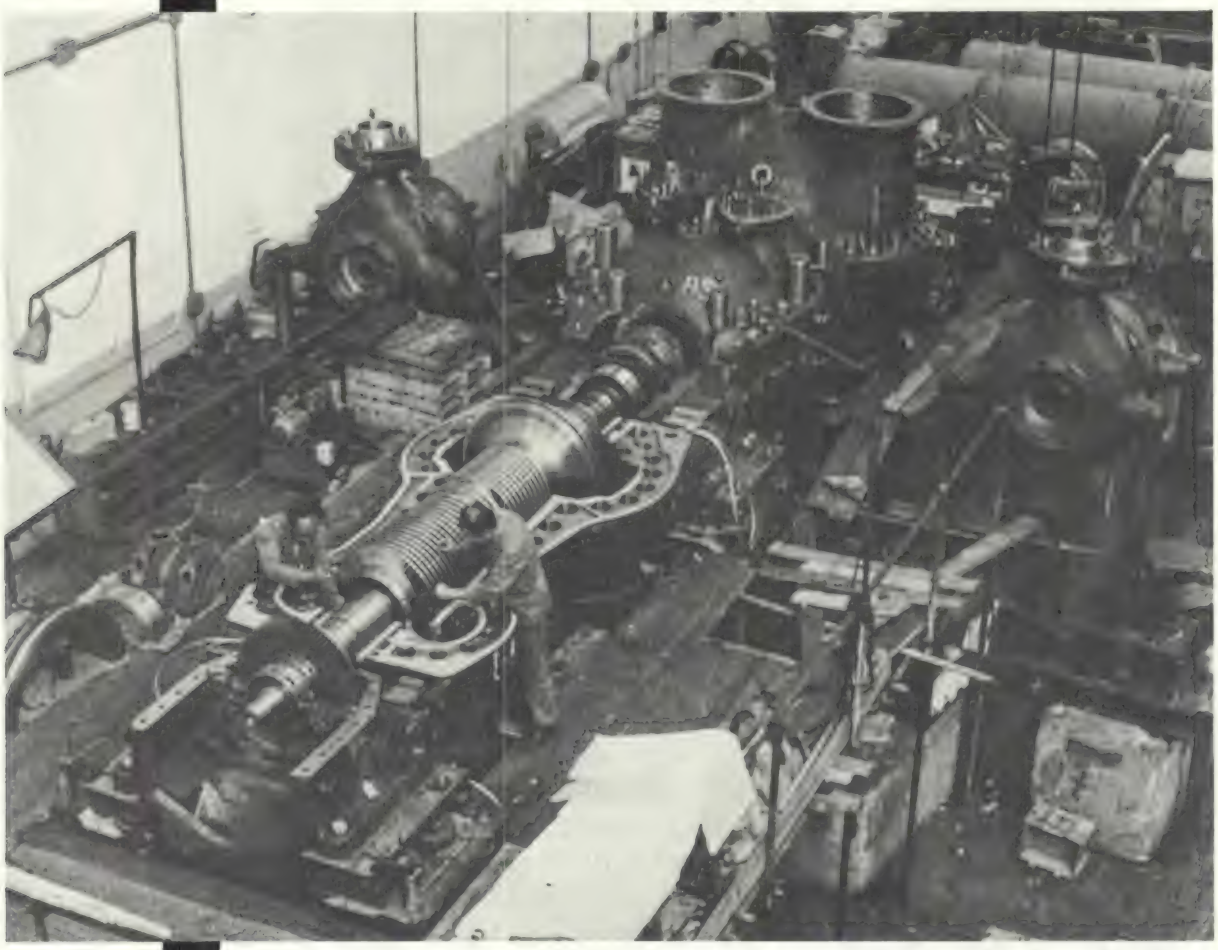
Representante em Portugal e Ilhas
ARTUR WESTHEIMER, LDA.
Rua Maria Andrade, 42-2°
Lisboa-1

À venda no seu fornecedor da especialidade

rotring
ABSOLUTA PRECISÃO

10.000 ex
150 A-Por

MAGUE



«Montagem em fábrica do corpo de alta pressão da turbina de 125 MW do Grupo V da Central Térmica do Carregado».

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

EXPORTAR

Num esforço para aumentar o volume das suas exportações, após a encomenda de 200 caixas de aço inoxidável para os U.S.A.,

a SOREFAME obteve mais uma encomenda no sector de material ferroviário, de valor superior a 200.000 contos.

Entre a FEPASA (Brasil) e um consórcio constituído por

SOREFAME – Sociedades Reunidas de Fabricações Metálicas, S.A.R.L.
ACEC – Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi, SA
MAFERSA – Material Ferroviário, S.A.
INDÚSTRIAS VILARES, S.A.

foi assinado um contrato para o fornecimento de 30 Unidades Quádruplas Eléctricas.

A participação da SOREFAME tem especial significado por incluir a execução integral do projecto das Unidades Quádruplas, para além do fabrico, nas suas oficinas, de 40 veículos motores.

Os restantes 20 veículos motores e as 60 carruagens reboques destas Unidades Quádruplas serão fabricadas no Brasil. Os motores eléctricos serão fornecidos pela firma ACEC (Bélgica).

Esta encomenda, obtida em concurso internacional, exigiu um financiamento à participação da SOREFAME, que foi assegurado pelo Banco de Fomento Nacional.

SOREFAME

SOCIEDADES REUNIDAS DE FABRICAÇÕES METÁLICAS, S.A.R.L.
Amadora – Portugal

DESPOEIRAGEM

FILTROS TECIDOS EM PEÇAS, PANOS, SACOS, MANGAS

DE QUALQUER FIBRA NATURAL OU SINTÉTICA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

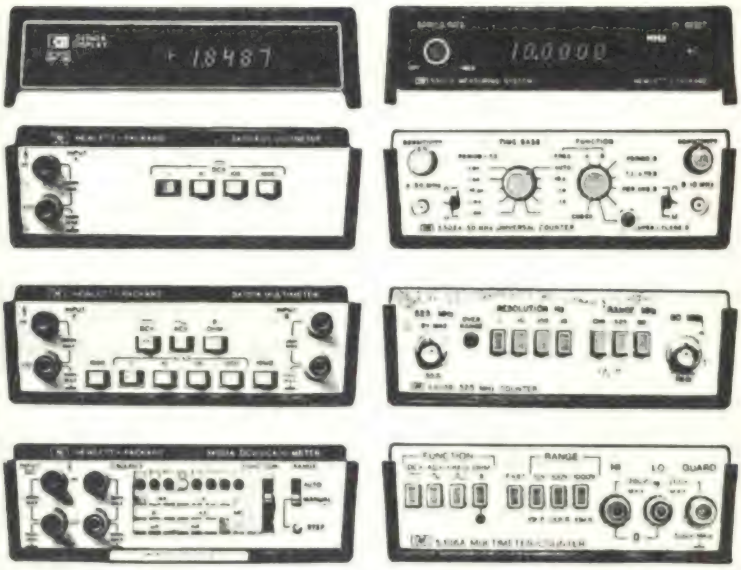
DELEGAÇÃO - LISBOA
Tr. do Guarda Mór, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
R. Francisco Newton, 389/393
C. P. 2178 - Tel. 81 89 7

MOÇAMBIQUE
L. Marques - C. P. 982 - Tel. 74 11 21
Beira - C. P. 1002 - Tel. 7 14 97

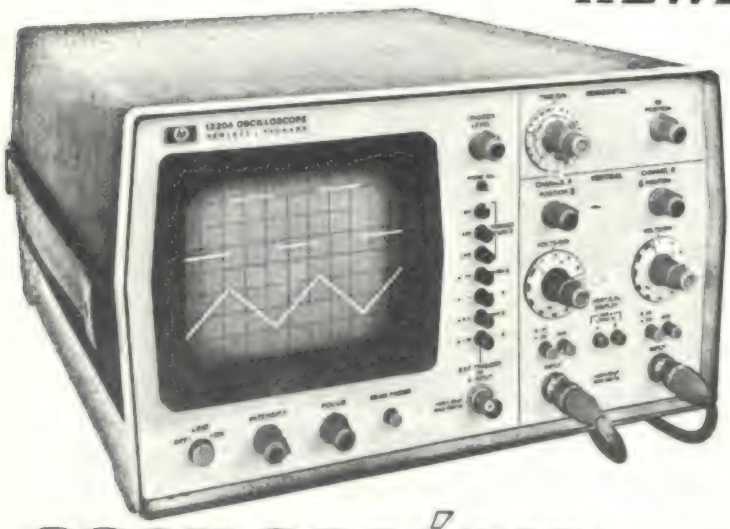
DIGITAIS

MULTÍMETROS · CONTADORES



3470 5300

HEWLETT hp PACKARD



T18

LABORATÓRIO DIGITAL

Mod. 5035T

OSCILOSCÓPIO 1220

TELECTRA

EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, S.A.R.L.

R. Rodrigo da Fonseca, 103 · LISBOA
Telefones 68 60 72·3·4·5 · Telex 1598
R. José Falcão, 15-4º Dto. PORTO · Tel. 2 62 09 · 3 33 50

técnica

NÚMERO 429 OUTUBRO DE 1975 ANO L VOLUME XXXVII PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 007

Do conhecimento e da acção

ANTÓNIO GOUVÊA PORTELA

RESUMO

O modo como o homem adquire conhecimento do universo, como o conceptualisa e actua.

SUMARY

How man aquires knowladge about the universe, conceptualises it and acts.

1 — INTRODUÇÃO

1.1 — O UNIVERSO DOS SERES E O DOS ATRIBUTOS

Um *ser* (S) (conceito primário não definido) possui vários *atributos* (A) (conceito primário igualmente não definido).

Os *seres* pertencem ao Universo dos seres U_S.

Os *atributos* pertencem a outro Universo, o dos atributos U_A.

O homem *conhece* os seres pelos seus atributos.

Os *seres*, elementos de U_S projectam imagens no universo dos atributos U_A por meio de *Relações* que simbolizaremos por ρ com índices apropriados.

Os *seres* interaccionam uns com os outros e dessas interacções resulta que as respectivas «imagens atributivas» são alteradas.

Postula-se que dois seres não interaccionam se as respectivas imagens no universo dos atributos não se modificam como resultado dessa interacção tentada.

Figurativamente podem apresentar-se estes conceitos da forma seguinte:

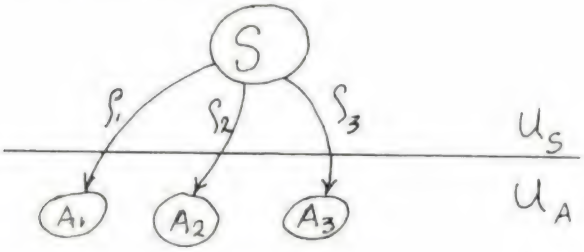


Fig. 1

onde $S \varepsilon U_S$, $A_i \varepsilon U_A$ com $i \varepsilon \Omega$

Na Fig. 1 está representado um ser S e um conjunto de Atributos A_i que S projecta por meio dum conjunto de relações ρ_i.

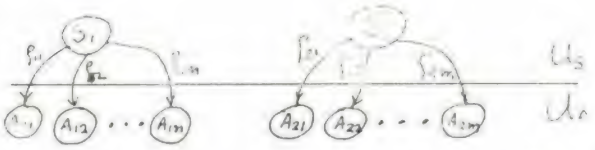


Fig. 2

Na Fig. 2 estão representados dois seres S_1 e S_2 e as respectivas constelações de atributos A_{1i} e A_{2j} obtidos por meio das duas constelações de relações ρ_{1i} e ρ_{2j}.

Se entre S_1 e S_2 se se estabelecer uma *interacção* então, *pelo menos*, uma imagem atributiva A_{1i} e outra A_{2j} se modifica o que demonstra que uma interacção tevo lugar, como se representa na Fig. 3.

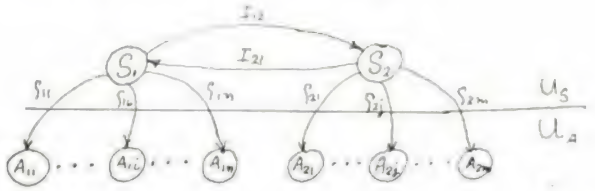


Fig. 3

1.2 — INSTRUMENTOS (SERES INSTRUMENTAIS S_i)

Um instrumento (no sentido lato) não é mais que um *ser* que tem uma imagem atributiva «típica».

Um termómetro é construído para medir o artributo da temperatura.

Um instrumento é optimisado no sentido de dar

relevancia à imagem que projecta num certo *atributo* A_α .

Procura-se ainda que, quando usado, isto é, estabelecida a interacção do *ser-instrumento* com o *ser-mensurado*, cujo atributo se deseja apreciar, se verifique que os atributos do *ser-mensurado* não sofram modificações relevantes de modo a que se possa declarar que este não foi submetido a uma alteração por força da interacção, com o *ser-instrumental*.

Assim, o homem foi conduzido a fabricar uma vasta classe de instrumentos cada um especializado na apreciação de certo atributo.

Figurativamente a imagem-atributiva de um ser não é, na ciência moderna, conhecida senão por intermédio das imagens típicas dos seres instrumentais que são postos em interacção com ele.

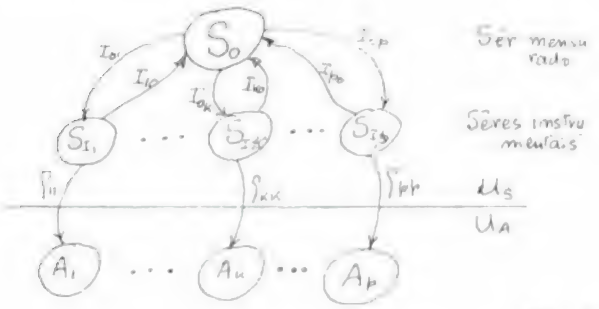


Fig. 4

Na Fig. 4 estão indicados os passos normalmente dados na operação da observação-atributiva de um ser S.

NOTA 1 — O homem pode desempenhar o papel de ser-instrumento, quando propõe um juízo de valor. Deste modo o homem desempenha duas funções, a de Ser-instrumento e a de apreciador de atributos.

NOTA 2 — Este conceito é muito vasto e se é simples reconhecer que um termómetro é um ser-instrumento, é mais difícil reconhecer que uma simples contagem dos elementos dum conjunto ou a verificação de que a luz está acessa, são para este efeito, também instrumentos.

NOTA 3 — Sem querer introduzir qualquer conceito de «informação», pode dizer-se duma forma figurada que na interacção entre S_o e S_{ik} se podia desprezar os efeitos I_{ko} e suprimir no grafo os arcos desse tipo.

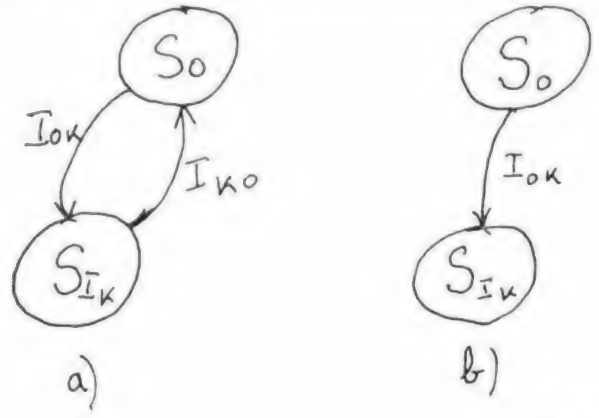


Fig. 5

Num instrumento procura-se que o grafo da Fig. 5 a seja substituído pelo grafo da Fig. 5 b.

1.3 — SERES INFLUENTES: (OU POTENTES)

Em oposição aos *seres-instrumentais* que se caracterizam por evitar, na medida do possível, alterar o *ser-mensurado* quando aqueles são postos em interacção com estes, outros há que se destinam justamente a *provocar* modificações nos seres-mensurados.

Com efeito espera-se que uma válvula, um contacto-eléctrico, etc., interfiram no *ser* em estudo de modo a alterar a sua imagem atributiva.

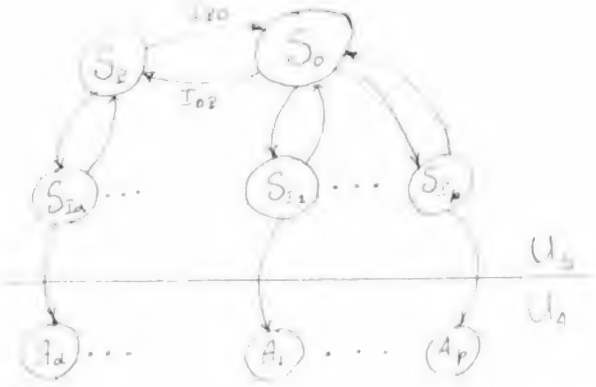


Fig. 6

Um Ser-Potente S_P interacciona com um Ser dado S_o. Então deve verificar-se que:

$\exists_\alpha$ A_α imagem-atributiva do Ser-instrumental $S_{i\alpha}$ em interacção com S_p ;

$\exists_k A_k$ imagem-atributiva do Ser-instrumental S_{ik} em interacção com S_o;

se modifiquem por força de interacção, entre S_p e S_o.

Na Fig. 6 está representado este conceito e procurou-se ainda distingir os S_α destinados a obter imagens-atributivas de S_p e S_o e cuja intervenção pouco devo alterar a interacção em estudo de S_p com S_o.

Note-se finalmente que no grafo que descreve a interacção entre S_p e S_o tanto I_{po} como I_{op} são em geral importantes.

Contudo pode acontecer que I_{op} possa ser desprezável, (ao contrário do que sucedia com I_{ou}).

Assim, teremos as seguintes situações típicas:

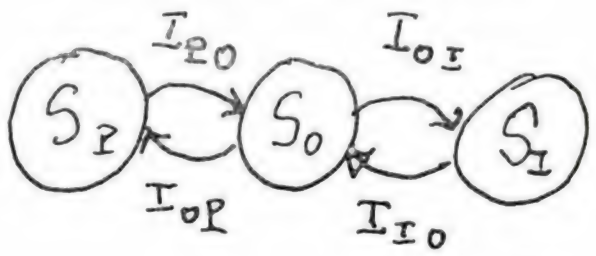


Fig 6 a

Na Fig. 6 a, está representado a situação real, isto é, a interacção envolve sempre um *duplo arco.*

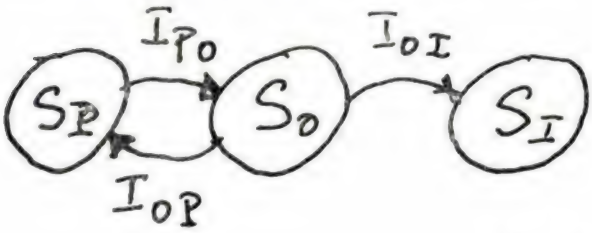


Fig. 6 b

Na Fig. 6 b, para instrumentos é possível desprezar na generalidade o arco I_{IO}.

Na Fig. 6 c, para uma relativamente vasta gama de *Seres-potentes* pode desprezar-se I_{OP}, o grafo obtido constitui uma cadeia linear.

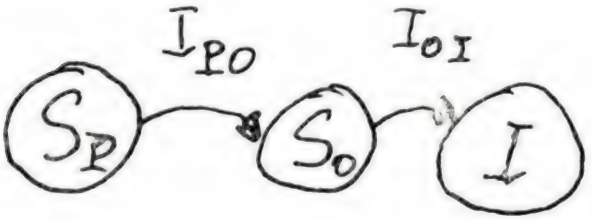


Fig. 6 c

1.4 — RELAÇÃO ENTRE IMAGEM-ATRIBUTIVAS

Há três grandes categorias de relações entre imagens-atributivas.

a) *Categoria f.*

Seja dado um ser S e suas respectivas imagens-atributivas A_i, $i \varepsilon \Omega$

Se for possível definir uma relação f tal que

$$A_j \overset{f}{\frown} A_l$$

onde: $j \varepsilon \Omega_1 \subset \Omega$ e $l \varepsilon \overline{\Omega_1}$

onde $\overline{\Omega}_1$ é o complemento de Ω_1 em relação a Ω., pode então declarar-se queas imagens A_i estão entre si relacionadas, (ou correlacionadas).

Esta categoria de relações só demonstra a existência de redundância na informação colhida a respeito de S e têm interesse sobretudo para *controlar* (check) a informação colhida.

b) *Categoria F.*

Relações que têm por domínio Imagens-atributivas de um ser e por contradomínio outros atributos (em geral não mensuráveis).

Exemplos: energia, informação, entropia, liquidez, prezer, tensão nervosa, etc.

Este tipo de relações têm a maior importância porque permitem descrever os seres reais à luz de atributos conceptuais, isto é, do foro dos conceitos e não dos sentidos.

c) *Categoria* φ

Relações que se estabelecem entre imagens de seres interaccionando entre si, nomeadamente entre seres potentes e o ser em observação.

Tem interesse figurar estes três tipos de relações.

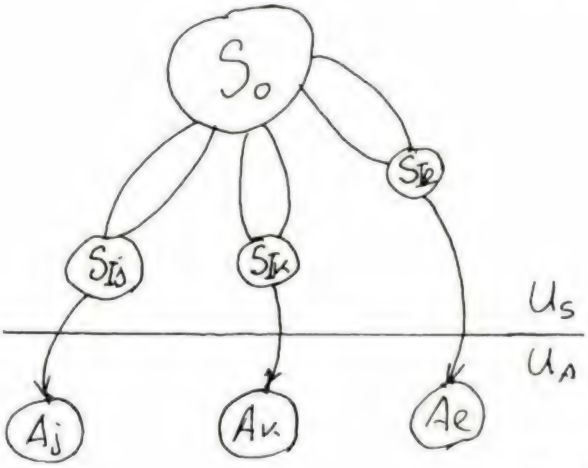


Fig. 7a

Categoria f

Seja $a_{oj} \varepsilon A_j$ com $j \varepsilon \Omega$, o valor do atributo de S_o em A_j.

Uma relação do *tipo f*, terá a forma

$$A_{oj} \overset{f}{\frown} A_{ol}$$

com: $j \varepsilon \Omega_1 \subset \Omega$ e $l \varepsilon \overline{\Omega}_1$

Como por exemplo $a_{ol} = \sum_{j \varepsilon \Omega_1} a_{oj}$

então a_{ol} não traz nova informação e o conhecimento a_{oj} $j \varepsilon \Omega$, era suficiente, a_{ol} é informação redundante, que pode apenas servir de controle.

O Domínio de f é o produto cartezianoo $\left\{ \underset{j \varepsilon \Omega_1}{X} A j \right.$

e Contradomínio é $\left\{ \underset{l \varepsilon \Omega_1}{A_l} \right.$

veja-se Fig. 7 a

Categoria F

Dom F $\equiv \underset{j \varepsilon \Omega,}{X} A j$ onde $\Omega, \varepsilon \Omega$

e cont F $\equiv \underset{\beta \varepsilon \varnothing}{X} A \beta$

Porque as imagens-atributivas $A\beta$ com $\beta \varepsilon \varnothing$ são as mais variadas pode até acontecer que se desprezem completamente os A_j e se substituam por $A\beta$ para tanto basta que F seja *invertível.*

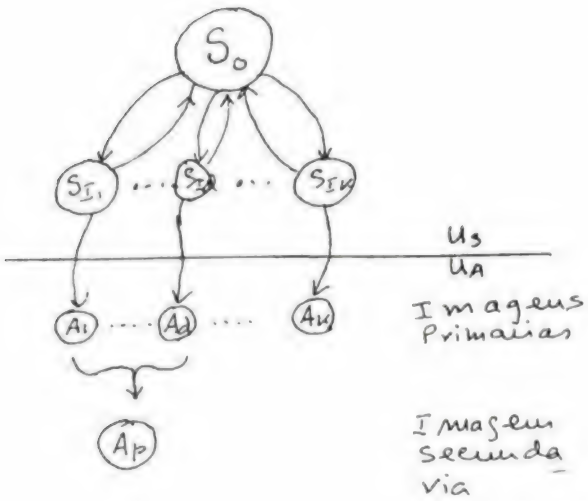


Fig 7 b

Na Fig. 7 b, está *representada* a forma como se criam estas imagens-atributivas secundárias a partir das imagens-primárias.

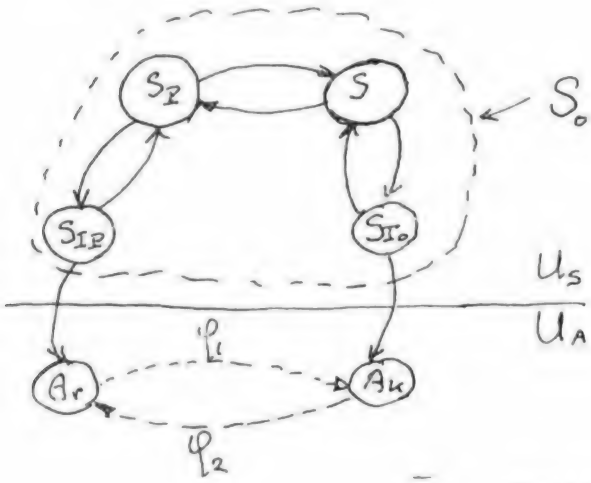


Fig. 7 c

Categoria φ

— S_p interacciona com S_o

— S_p projecta imagens do tipo A_r com $r \in \Omega$ e S Projecta imagens do tipo A_k com $K \in \theta$

φ_1 { tem por domínio X A r, $r \in \Omega, \subset \Omega$; e contradomínio X A_k, $k \in \theta, \subset \theta$ }

e

φ_2 { tem por domínio X A_k, $k \in \theta_2 \subset A$; e contradomínio X A r, $r \in \Omega, \subset \Omega$ }

Estas relações φ, no universo U_A das Imagens-atributivas, procuram descrever, tanto quanto possível, o que se passa entre S_p e S no mundo do Real. Veja-se Fig. 7 c.

Convém ainda chamara a tenção para os seguintes aspectos:

— Se designarmos por S_T à reunião interactuante de $S \cup S_p = S_T$, então as relações do tipo φ confundem-se com as do tipo f. Sobretudo, em física e automação é costume recorrer alternadamente a estes dois modos de encarar o par (S, S_p).

— Se designarmos por S_o à reunião interactuante dos seres $\{S_{ip}\} \cup S_p \cup S \cup \{S_i\} = S_o$ e, por outro lado reunirmos $\{A_i\} \cup \{A_k\} = A$ então A_w é a imagem de S_v por $\{\varrho_e\}$ com $l \in \theta \cup \Omega$; Veja-se Fig. 7 d.

Se na resolução de um determinado problema a imagem p w $\{\varrho_e\}$ for adequada então $\{A\ w\}$ deverá conter toda a informação necessária para resolver o problema proposto.

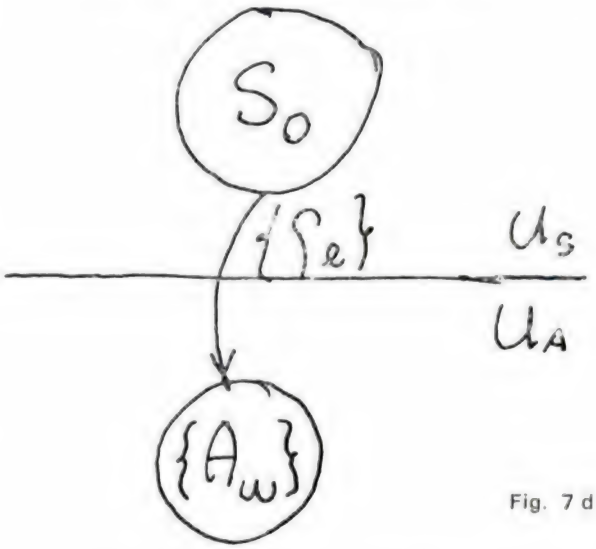


Fig. 7 d

— O estudo dum fenómeno interactivo poderá fazer-se como se indica na Fig. 7 e, o que já é uma representação mais simples.

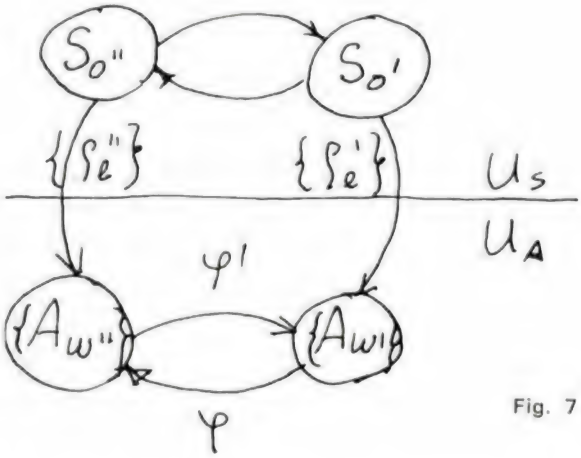


Fig. 7 e

— Por último tem interesse referir que o formalista desinteressa-se do universo U_S, alguém (físico, engenheiro, economista, médico, astrónomo, etc.) se encarregou da tarefa de formar as imagens $\{A\ w\}$. O seu problema nasce daqui por diante.

No capítulo seguinte 1.4) trata-se sumariamente deste problema.

1.4 — FUNÇÕES DO FORMALISTA

No contexto desta exposição o maior problema do formalista é tornar nítidas as imagens $\{A\}$ o que através do tempo foi obtido usando várias linhas de progresso:

A — *Definição sintática* de cada um desses espaços onde a imagem A_T é descrita, — aqui temos toda a álgebra e topologia.

B — *Oferecer ao físico* (muitas vezes por iniciativa do próprio físico) uma grande cópia de espaços: grupos, anéis, módulos, espaços funcionais, etc., com métricas variadas (e sem elas), conceitos de distância, distribuição, etc.

C — Estabelecer *regras de inferência* de aplicação sintática: (operações, operadores) que dum modo geral chamaremos de *Relações*, que habilitem a racionalizar o juizo sobre as imagens.

Qual o principal perigo? o confundir-se a Nuvem com Juno, isto é, a Imagem do ser, com o próprio ser.

Leis da física, modelos econométricos, caixas pretas da álgebra de Blocos, são Relações, entre imagens de interacções reais de entes reais, em geral purificadas, idealisadas e *sempre* com um conteúdo de informação inferior ao do Real.

O Estudo deste problema é o objecto do capítulo seguinte.

2 — DO CONHECIMENTO E DO CONTROLO

O Homem presistentemente persegue o objectivo de *Controlar* os acontecimentos.

Para a consecução deste objectivo é necessário conhecer as variáveis potentes ou influentes sobre as quais pode actuar.

Para atingir esta segunda finalidade, que aliás nem sempre consegue, é mister resolver duas classes de problemas:

a) Primeiro — Adquirir «conhecimento» a respeito do ser ou fenómeno porque se interessa. Escolher o espaço atributivo adequado.

b) Segundo — Adquirir «conhecimento» sobre as variáveis influentes no ser ou fenómeno e sobre as variáveis que pode manusear (comandar) que directa ou indirectamente interferem nas variáveis influentes referidas em 2°. lugar.

a) Primeiro Problema:

Foi tratado no capítulo anterior, e já vimos como é possível criar um espaço imagem-atributiva para caracterizar um ser (um fenómeno ou interacção) convenientemente.

b) Quanto ao *Segundo Problema* vamos passar a expôr:

Seja S_T um ser (ou conjunto de seres eventualmente interaccionantes) e seja $\{A_K\}$, $K \varepsilon \theta$ a sua imagem atributiva obtida por meio de relações ϱ_K, com $k \varepsilon \theta$ e seja $\{A_V\}$, $v \varepsilon \Omega$ a imagem dos seres influentes ou potentes por $\{\varrho_r\}$, $r \varepsilon \Omega$; S_T inclui os seres instrumentais necessários, bem como os seres Potentes e respectivos seres instrumentais. Na Fig. 8, representa-se o mesmo que em Fig. 7 c, mas engloba-se em S_T tudo quanto está representado e analisado em U_S da Fig. 7 c.

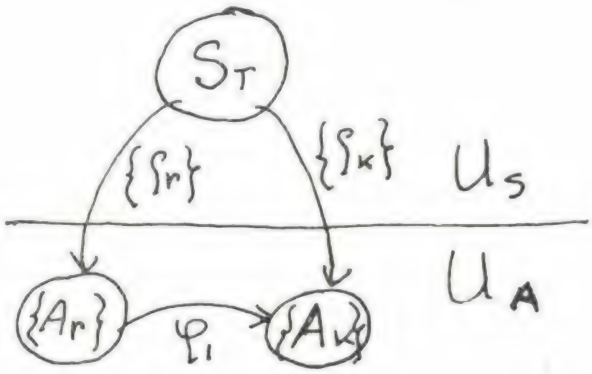


Fig 8

Escolhamos os espaços formais adequados para representar as imagens-atributivas:

$$X_K \longleftrightarrow A_K \qquad K \varepsilon \theta$$
$$X_r \longleftrightarrow A_r \qquad r \varepsilon \Omega$$

e formaremos o respectivo produto carteziano:

$$\underset{K \varepsilon \theta}{\pi} X_K \quad e \quad \underset{r \varepsilon \Omega}{\pi} X_r$$

e finalmente, seja φ um conjunto pertencente ao Produto Carteziano seguinte:

$$\varphi \ \varepsilon \left(\underset{r \varepsilon \Omega}{\pi} X_r \right) X \left(\underset{k \varepsilon \theta}{\pi} X_K \right)$$

φ relaciona os dois conjuntos multiplicados carteziamente

Emgeral sucede que não é possível criar, duma só vez $\left(\underset{r \varepsilon \Omega}{\pi} X_r \right)$, porque só a pouco e pouco é possível adquirir o «conhecimento» de quais os atributos que eficazmente são influentes; estamos no domínio da ciência experimental.

Também não será dum só jacto que se saberá escolher convenientemente a estrutura algébrica e topológica tanto para os espaços X_r como para o espaço $\underset{r \varepsilon \Omega}{\pi} X_r$

Problema igual, mas em geral mais simples se verifica para $\underset{K \varepsilon \theta}{\pi} X_{ii}$.

Neste ponto o que se deseja realçar é o modo como progressivamente esta operação pode ser efectuada. Com efeito, supunhamos que $\underset{K \varepsilon \theta}{\pi} X_{ii}$ já foi identificado e escolhido.

O Problema está em que foi escolhido um conjunto Ω_1 de coordenadas e ao tentar-se descrever a função φ_1 obteve-se uma relação com a forma indicada em Fig. 9 a (Figura simbólica).

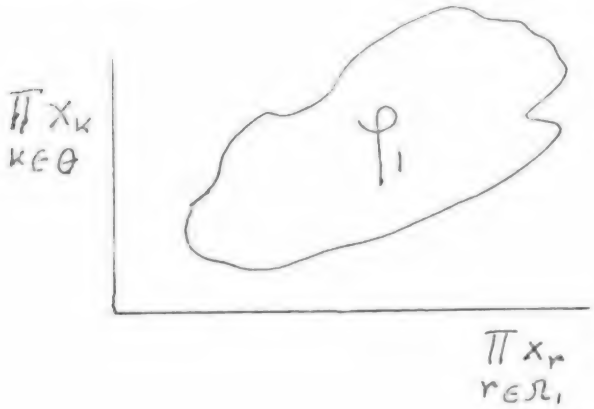


Fig 9 a

O *Controle* do fenómeno (ou Sêr) é *fraco* e provavelmente não satisfaz às necessidades, com o efeito o sistema pode sofrer grandes alterações para o mesmo conjunto de Comandos.

É essencial procurara mais variáveis influentes e $\Omega_2 \supset \Omega_1$ é o novo conjunto escolhido.

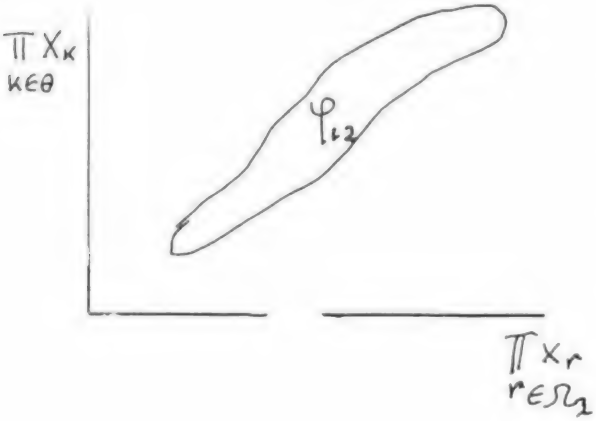


Fig 9 b

Na Fig. 9 b está representada a nova relação φ_{12} e verifica-se que a região de incerteza diminui substancialmente.

Um terceiro conjunto $\Omega_3 \supset \Omega_2 \supset \Omega_1$ foi adoptado e a relação obtida φ_{123} já será suficientemente boa para não prosseguir nesta operação: aumento do conjunto Ω_i de variáveis influentes (Fig. 9 c).

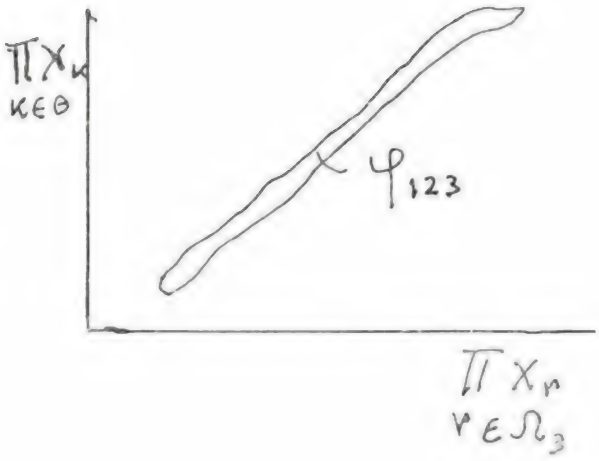


Fig. 9 c

Tem interesse referir os motivos que levam a não prosseguir a operação:

1 — Dificuldade de encontrar novas variáveis influentes ou potentes.

Com efeito aquelas cuja influência é mais evidente e relevante foram as experimentadas em primeiro lugar.

2 — Se o número de variáveis influentes for muito grande o seu respectivo controle torna-se progressivamente mais difícil.

3 — As vantagens marginais que advêem dum controle mais correcto da imagem de S_T em $\underset{r \varepsilon \Omega}{\pi} X_K$ são cada vez menores.

c) *O Terceiro Problema:*

O facto de se explicar a imagem de S_T por meio de uma outra imagem em $\underset{r \varepsilon \Omega_i}{\pi} X_r$, não significa que se possa controlar a imagem de S_T.

Exempos óbvios são situações tais como: o movimento de Rotação da Terra, a atração lunar, etc.

Assim muitos problemas deixam de ter solução somente porque o homem pode apenas *explicá-los* mas não controla-los.

Porém há casos menos fortes do que os acima mencionados, e que se situam no interior da sua fronteira de acção e que podem formular-se do seguinte modo.

Conhecem-se as variáveis influentes $\underset{K \varepsilon \theta}{\pi} X_r$, mas não se sabe *controlar* todas ou algumas variáveis, então há que procurar novas variáveis que possam substituir as primeiras mas que sejam já susceptíveis de ser controladas.

Na Fig. 10 figura-se entre real S_G que interaccionam com S_T igualmente real, de tal modo que as imagens em $\{A_r\}$ e $\{A\,g\}$, em conjunto, não só explicam a imagem em $\{A_K\}$ como ainda, algumas delas corres-

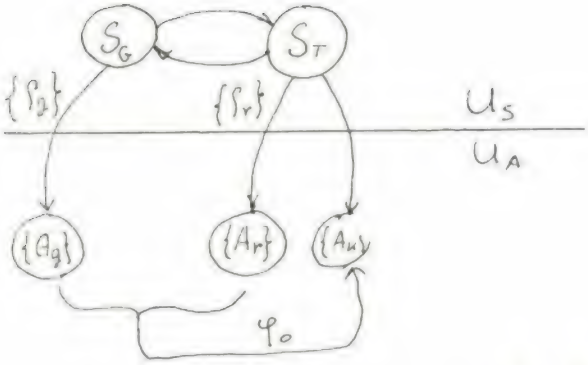


Fig. 10

pondem a *variáveis potentes* que eficazmente controlam a imagem em $\{A_r\}$ de S_T .

Se designarmos por $Z\alpha$ os elementos pertencentes que: a X_g ($g \varepsilon E$) como a X_r ($r \varepsilon \Omega$) onde $Z\alpha$ é potente e daí que pode ser controlado, teremos que haverá um conjunto E tal que πX_α ($\alpha \varepsilon E$) é um espaço suficiente de variáveis potentes ($Z_\alpha \varepsilon X_\alpha$) que permitem controlar a imagem de S_T em πX_κ ($K \varepsilon g$).

Note-se que Card $E \geqslant$ Card Ω, com efeito, se tal não sucedesse, a qualidade do controle seria prejudicada.

Exige-se, em geral, ainda que exista uma relação entre a imagem em πX_r ($r \varepsilon \Omega$) de S_T e a imagem de ($S_G \cup S_T$) em πX_g, ($g \varepsilon E$) do tipo bijectivo.

Esta segunda condição garante que entre as variáveis potentes e as variáveis explicativas existe uma relação bijectiva.

3 — RELAÇÕES

Nos capítulos anteriores ficou patente o papel importante que as *relações* desempenham na manipulação da informação.

Sob o ponto de vista informação e controle convém classificar as relações em duas grandes classes:

as que destroiem informação
as que preservam informação

Além desta classificação haverá todas aquelas, que são correntes nas teorias formais como a dos conjuntos: aplicações, funções, medidas, etc., etc., que supomos conhecidas e portanto só nos vamos referir à classificação acima por ser esta que mais importância tem para o tema em exame.

3.1 — RELAÇÕES QUE DESTROIEM INFORMAÇÃO

Comecemos por dar um conjunto de exemplos para ilustrar este conceito.

— Os seres-instrumentais, uma balança, um termómetro, etc., fornecem por interacção com um ser -mensurado dado, uma informação típica; um peso, uma temperatura,etc.

O instrumento e o respectivo modus-operandi, consideram-se tanto mais afinados e eficazes quanto menos perturbada for, a informação, pelos restantes e infinitos atributos do ser-mensurado.

Tudo se passa como se toda a restante informação a respeito dos atributos do ser-mensurado fosse destruída (ou perdida) para só ficar aquela para a qual o instrumento foi concebido.

— Um filtro monocromático, só deixa passar a energia associada à frequência para o qual foi construído.

— Reduzir a informação a respeito de um conjunto de seres, apenas ao conhecimento do seu número é também destruir informação.

Também há inúmeros exemplos no domínio do universo dos atributos (U A).

— Escolher um vector extremando, num programa linear, elegendo uma funcional para critério único de escolha. Toda a informação contida nos elementos dum vector é reduzida a um real.

— O Produto ou a soma de vários números, reduz a informação, com efeito, há mais informação conhecendo todas as parcelas ou termos do que apenas o seu produto ou soma.

— Operações do Cálculo de afinores, tais como, transvecção, contracção, produto misto ou alternado, destroiem informação.

— A projecção, o corte, a sombra de uma forma geométrica têm menos informação do que a da referida forma.

Dados estes exemplos tem interesse explorar um pouco mais dois casos:

$$\begin{cases} \text{Funcionais} \\ \text{Distribuições} \end{cases}$$

3.1.1 — FUNCIONAIS (OU FUNÇÕES GENERALISADAS)

Seja dado um espaço produto cartaziano $x_1 X x_2$ e seja R uma relação, $R \supset x_1 X x_2$ e representemos por C_r o corpo dos Reais.

Pode conceber-se uma Relação F que tenha por domínio o conjunto assim descrito:

$$\text{dom } F \equiv \left\{ \underset{ij}{\forall} \; (x_i, \; x_j) \; \varepsilon \; R \right\}$$

Isto é, todos os pares (x_j , x_i) que pertencem a R e têm por contradomínio os reais.

Então F reduziu toda a informação contida na Relação R a um *real* α.

$$R \xrightarrow{F} \alpha$$

Esta operação pode ser usada de dois modos:

a) *ou* Procurar todos os R_i que podem constituir dom F e formar com eles um conjunto:
$\{ R_i : R_i$ é dom $F \}$

Esta operação é típica para as funcionais de programação linear ou outra.

b) *ou* Criar um conjunto de relações F_j cujos elementos têm entre si certas *familiaridades* e a partir dum mesmo R_i obter os α_{ij} correspondentes.

Ora como cada α_{ij} está associado ao índice j que caracteriza a relação F_j poderá dizer-se que desta operação resultou um par (α_{ij}, j).

onde $\begin{cases} \alpha_{ij} \varepsilon C_r \\ j \varepsilon \Omega \end{cases}$

(Ω é frequentemente o corpo dos Reais C_r).

e então $R_i \xrightarrow{\{F_j\}} \{(\alpha_{ij}, j)\}$

Isto é, R_i e o conjunto de relações $\{ f_j \}$ deram origem a uma relação $Q_i \subset C_r \times \Omega$
tal que

$$Qi = \left\{ (\alpha_{ij}, j) : \begin{bmatrix} \alpha_{ij} \text{ é a imagem de } R_i \text{ por } F_j \\ j \text{ é o índice do } F_j \end{bmatrix} \right\}$$

Pode então constituir-se um conjunto de relações $\{F_j\}$ suficientemente «denso» de modo que toda a informação contida na relação Ri seja transferida para a relação Qi, tornando possível assim *inverter-se* a operação de modo a regressar a Ri a partir de Qi.

Neste caso, teriam sido construídas Relações $\{F_j\}$ e $\{F_j\}^{-1}$ que não perdem *informação.*

c) *ou* Finalmente, o par de conjuntos de relações $\{F_j\}$ e $\{F_j\}^{-1}$ podem servir para tratar conjuntos de relações {Ri}, (aos quais fossem aplicáveis), e produzir as Relações do tipo {Qi} e inversamente.

Como exemplos temos as transformadas de Fourier, de Laplace, os momentos, etc.

3.1.2 — DISTRIBUIÇÕES (PROBABILIDADES E ESTATISTICA)

a) — Regressaremos ao 2.° capítulo e ao problema tratado na alínea b) e em particular às figuras 9-a, 9-b e 9-c.

Nem sempre é possível reduzir a região da incerteza pelo processo de acrescentar mais variáveis X_r explicativas (ou potentes).

Pode até acontecer que a relação seja de tal modo fraca que se confunda com o produto carteziano do seu domínio pelo seu contradomínio, então é possível às vezes (quando o contradomínio de φ é probabilizável) fazer corresponder a cada elemento $(\ldots x_r \ldots) \varepsilon \underset{k \varepsilon \theta}{\pi} x_r$ não um elemento $(\ldots x_r \ldots) \varepsilon \underset{k \varepsilon \theta}{\pi} x_K$ mas uma *relação* P_r assim construída.

Domínio $P_r \varepsilon \underset{k \varepsilon \theta}{\pi} x_K$

Contradomínio P_r um real $p_r \varepsilon R+$

Se esta relação P_r fôr do tipo medida normada com norma igual 1, pois temos construído o tipo das distribuições usadas em Probabilidades.

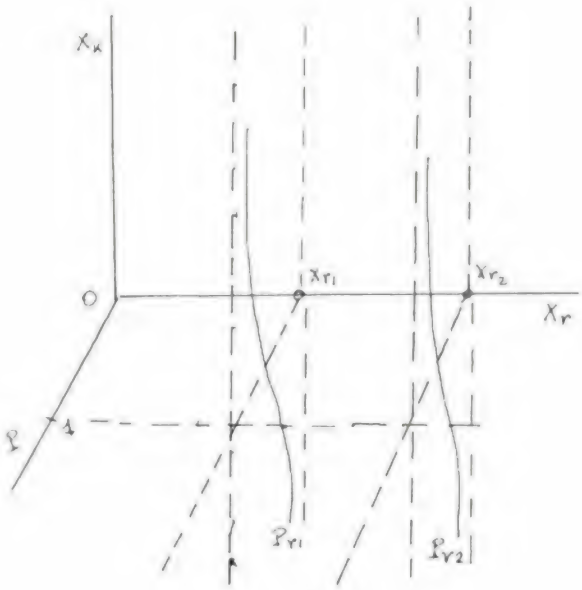


Fig. 11

Na fig. 11 está representado o caso de uma só variável explicativa (ou potente) x_r e uma só variável a explicar x_K. Assim temos:

— x_r (variável explicativa) que na Fig. 11 se representaram os valores x_{r1} e x_{r2} ambos pertencentes a X_r

— X_K (variável a esplicar)

— p uma variável real positiva, e p ε [0,1].

— P_{r1} e P_{r2}, duas relações (X_K, p) que estão em correspondência respectivamente com x_{r1} e x_{r2}

Estas relações P_{r1} e P_{r2} têm um conteúdo de informação importante, pois pode conhecer-se qual o valor x_{Kj} mais *provável* para um certo x_{rj} dado ou a *média* ou a respectiva *variância, enviezamento,* etc., etc.

Para o efeito basta aplicar certas funcionais (os momentos) para fazer a correspondência entre cada uma das distribuições P_{ri} com um certo $\alpha \varepsilon$ Reais.

O Processo completo pode, como exemplo, aplicar-se ao *valor médio.* Veja-se a Fig. 12.

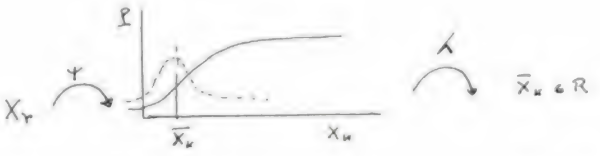


Fig. 12

Em muitas aplicações, quando a variância é aceitá-

vel, pode confundir-se a aplicação sucessiva das duas relações (ψ o λ) por um só μ :

$$x_r \xrightarrow{\mu} \overline{x}_\kappa \qquad \text{onde} \qquad \mu = \psi \circ \lambda$$

No exemplo apresentado, x_r admitiu-se dado o determinado e x_k aleatório.

b) Tem interesse comparar o conteúdo de informação entre uma relação com uma *incerteza irreductível* e a informação adicional que pode ser carreada se esse domínio de incerteza poder ser probabilisado.

Novamente usaremos na ilustração um só x_r e um só x_k .

Tratado x_r como variável determinada, a relação φ toma o aspecto da Fig. 13 a.

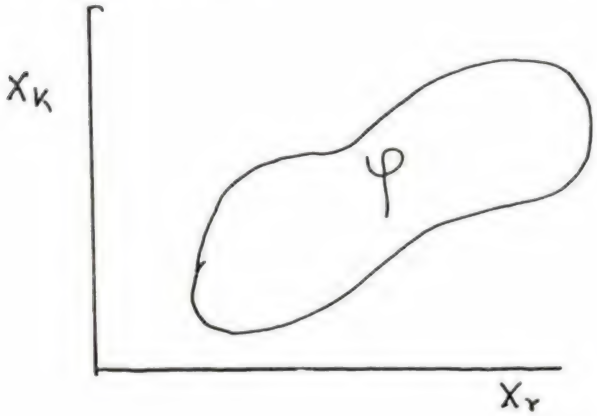


Fig 13 a

É claro que x_r explica (ou comanda) mal x_k .

Tendo sido possível probalisar o espaço assim definido:

$$X_k : \left\{ \forall_k \, x_k \text{ é 2.° membro de } \varphi, \text{quando } x_r \text{ é 1.° membro} \right\}$$

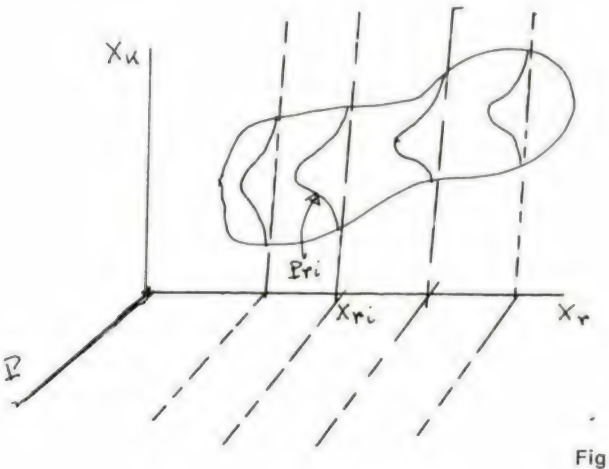
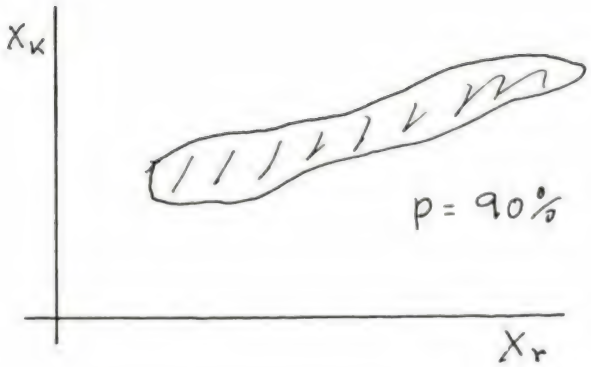


Fig 13 b

As Distribuições respectivas Fig. 13 b contêm informações suficientes para declarar, por exemplo: que com uma probabilidade de 90 % a Relação φ entre x_κ e x_r é a da Fig. 13 c.



âê Fig. 13 c

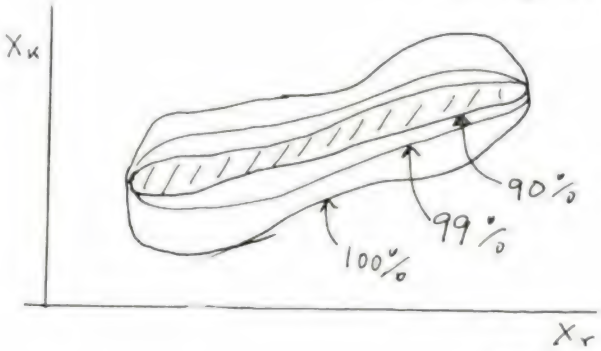


Fig. 13 d

Na Fig. 13 d estão representados os contornos que delimitam as regiões dos espaços $x_r \times x_\kappa$ onde φ está em correspondência com as probabilidades referidas na dita Fig. 13 d, isto é 90 %, 99 %, 100 %.

c) Finalmente tem interesse referir à Corelação entre dois $x_\kappa : x_{\kappa 1}$ e $x_{\kappa 2}$

$x_{\kappa 1}$, $x_{\kappa 2}$ são duas variáveis «insuficientemente» explicadas por $\underset{r \varepsilon \Omega}{\pi} x_r$

Pergunta-se x_{k^1} e x_{k^2} são ou não independentes entre si ou existe um certo grau de dependência?

Se x_{k^1} e x_{k^2} fossem determinadas (ou tratadas como tal), então a relação φ tomaria a forma dada na Fig. 14 a e o contorno indicado poderia no caso extremo confundir-se com $\underset{i \varepsilon I}{\overset{2}{\pi}} x_{\kappa i}$

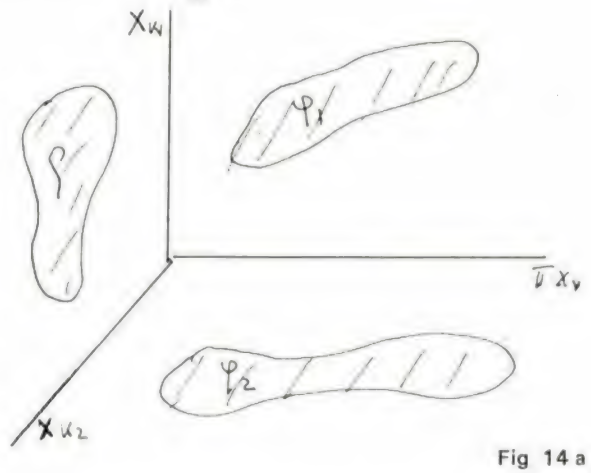


Fig 14 a

Pode porém ser possível estabelecer-se em $\overset{2}{\pi}\ x_{ki}$ $i \varepsilon I$ uma medida normada (Probabilizar o espaço referido) e então obter-se-ia, por exemplo, a Fig. 14 b. Assim alguns pares (x_{ki}, x_{kij}) estariam associados a valores de p maiores do que outros, e novamente seria possível extrair maior informação da Fig. 14 b, do que da Fig. 14 a.

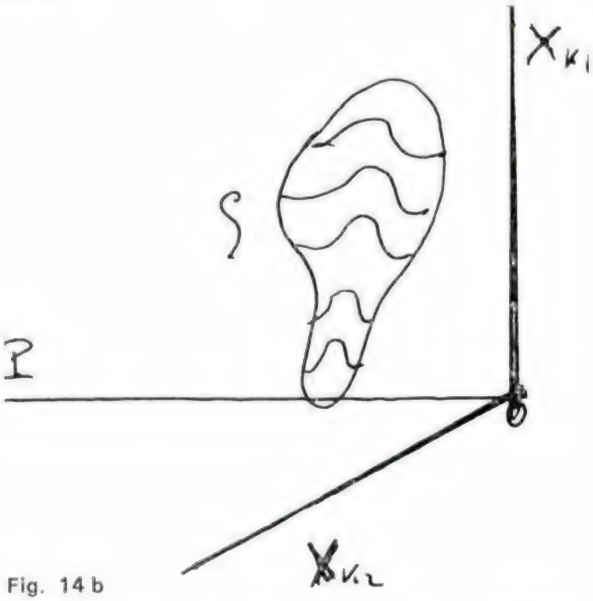


Fig. 14 b

Se designarmos por ρ' a relação: $x_{k1}\ X\ x_{k2}\ \rho'\ p$, então ρ' permite extrair informação adicional.

Resumindo o Capítulo 3.1:

a) As relações que destróiem informação são essenciais para o *refinamento* do nosso conhecimento a respeito do real.

São as que permitem extrair formas atributivas *puras*.

O universo dos atributos foi construído a partir do universo dos seres por meio de relações (em geral em hard-ware) que têm esta propriedade filtrante, desenvolvida em alto grau.

Já no domínio dos Atributos, também são as relações deste tipo que permitem escolher e ordenar.

b) Mostrou-se como as funcionais têm esta propriedade em alto grau e ainda como é possível que conjuntos de funcionais pudessem em certas circunstâncias, constituir-se em transformadas invertíveis que se caracterizam justamente em não destruírem *informação*.

Este exemplo foi evocado com o fim de mostrar como se pode passar de um processo relacional altamente filtrante e portanto destructivo de informação para um processo relacional onde a informação é conservada.

c) As distribuições foram mencionadas com dois fins:

— Para mostrar uma operação reflexa da da funcional.

Com efeito a funcional tem como 1.° membro uma relação (função ou distribuição) e por 2.° membro um real.

A distribuição de uma variável aleatória (que é uma relação), é usada, em controle, como 2.° membro de uma relação onde o 1.° membro é um real (variável determinando potente ou explicativa).

— Para exemplificar como é possível acrescentar mais informação a respeito de uma relação cujo grafo ocupa um domínio muito vasto para ter interesse. Foi mostrado que sendo possível probabilizar o conjunto contradomínio, informação adicional era susceptível de ser extraída.

Daí a importância fundamental da definição de medidas sobre espaços mensuráveis quando tal é possível.

3.2 — RELAÇÕES QUE NÃO DESTRÓIEM INFORMAÇÃO

a) Alguns exemplos introdutórios:

— A corrente eléctrica do par termo-eléctrico tem de ser transformada na posição de um ponteiro no galvanómetro.

É essencial que entre a corrente e a posição do ponteiro exista uma relação (1 — 1).

— Às coordenadas de um ponto referidas a duas bases, têm de estar de tal modo relacionadas que se possa obter uma das outras e inversamente.

— Quando numa transformada de Laplace se passa do espaço (x, t) para (X, s) é essencial que duma função $x = \varphi(t)$ se passe para um outro a $X = \psi(s)$ e depois seja possível realizar a operação inversa e regressar a $x = \varphi(t)$ sem perda de informação.

Como se vê, a par das Relações que destróiem informação, tratadas em (3.1), é essencial que haja Relações que conservam essa informação.

b) Tem interesse apresentar uma lista de cuidados a ter na manipulação da informação de modo a evitar que esta se perca, no todo ou em parte.

1) Podemos concretizar a apresentação do problema com o exemplo seguinte:

O Ponto P num espaço E representa a imagem em E de uma certa informação.

No entanto, por um motivo qualquer é necessario ou mais conveniente representar essa imagem no Espaço ε e o Ponto Q está em correspondência com P.

Para o efeito usou-se uma relação f tal que

$$\begin{cases} \text{dom. } f \ \varepsilon\ E \\ \text{cont. } f \ \varepsilon\ \varepsilon \end{cases}$$

As perguntas são:

— que espécie de espaço ε pode servir sabendo que a informação original está em E?

— que espécie de relação f deve ser usada?

Se mais nada for dito, a única forma de garantir que não haverá, em circunstância alguma, perda de informação, é ser-se exremamente exigente:

— *Quanto ao espaço* ε

— A dimensão de ε e de E tem de ser a mesma.

— Se E tem métrica, ε também a tem de ter.

— Se é possível definir distâncias ou medidas em E igualmente terá de ser viável em ε.

Isto é, as estruturas algébricas e topológicas de E e ε têm de ser isomórficas.

— *Quanto a* f

— f tem de ser uma relação do tipo 1 — 1.

— Na maioria dos casos, terá f e a sua inversa f^{-1}, de serem contínuas, ou derivadas contínuas até qualquer ordem.

— Em muitos casos será necessária impor que f e f^{-1} sejam limitados.

— etc., etc.

Como se vê as condições são tão restritivas que provavelmente, na resolução de problemas reais, poderão concerteza levantar-se algumas destas restrições.

c) O levantamento de restrições é um problema prático e por isso aqui só se poderão apresentar-se alguns casos típicos e ilustrativos.

— Uma *carta de mercator* é plana E^2 e no entanto o espaço que procura representar é um x^3. A informação que se perde, os movimentos do navio na vertical, não afectando a resolução da classe de problemas de navegação marítima para a qual as cartas de mercador foram concebidas, torna aceitável este modo de proceder.

— Um grafo plano das ruas duma cidade onde não há passagens sobrepostas é espaço aceitável para resolver os problemas de tráfico.

— Na verdade nestas operações está-se perdendo alguma informação, porém essa informação não é necessária ou relevante para resolver o Problema proposto.

Assim, a informação inútil para a resolução do problema é desprezada.

4. PROBLEMÁTICA

4.1 — ALGUNS PRESSUPOSTOS INTRODUTÓRIOS

a) *Imagem Atributo*

Admite-se um universo de Seres e outro de atributos.

Supõe-se que todo o ser tem uma imagem no universo dos atributos.

A imagem «completa» é sempre excessiva em conteúdo de informação para resolver os problemas do homem.

Recorre-se por isso à imagem «Parcial» adequada ao Problema.

A ciência tem por missão tipificar problemas a estudar para cada *tipo* o *espaço Imagem* adequado.

b) *Restrições*

Os seres interaccionam com outros seres o que permite ao homem «comandar» ou pelo menos «prever» a evolução e se o espaço imagem estiver bem construído, a imagem evolui à medida que o processo de interacção se verifica.

Uma vez que é possível *intervir*, podem escolher-se os estados permissíveis ao ser (sistema) e assim admitimos a existência de *restrições* como processo normal de intervenção.

O próprio *ser* pode ter *restrições* internas que justamente o caracterizam.

c) *Escolha*

Se as restrições internas dos *seres* e as externas impostas determinarem *univocamente* um só resultado, o problema pode dar-se por terminado. Porém as restrições não determinam, em geral, univocamente a solução.

Neste caso existe um problema de escolha e é essencial dispor de um *critério de escolha*.

O que é escolher? Escolher é muito próximo do conceito de *ordenar*.

Os métodos mais usados consistem em empregar uma relação que tenha por contradomínio o «arquétipo» do conjunto ordenado o *Corpo dos Reais*.

Às vezes uma relação somente, não chega para ordenar perfeitamente e haverá ainda que escolher entre vários elementos ou relações que são *equivalentes* segundo o critério de escolha usado.

Pode repetir-se a operação usando outro critério de escolha e assim sucessivamente.

d) *Quem escolhe*

Se existir uma única *vontade* na definição das restrições e dos critérios de escolha temos o problema *monovolutivo;* se intervirem mais do que uma *vontade* temos os problemas *plurivolutivos*.

As teorias dos jogos, procuram resolver problemas plurivolutivos.

Podemos dizer que a natureza também exerce a sua vontade e os acontecimentos e evoluções que se verificam sem intervenção do homem cabem nesta categoria.

O critério de estremar a entropia em termodinâmica, minimisar a funcional Acção em mecânica clássica, são exemplos conhecidos.

Os critérios não humanos podem igualmente formalizar-se como acabamos dever no parágrafo anterior e então podemos considerar que todo o estado de um ser ou a sua evolução resulta do exercício de estremar uma *funcional* da *natureza*.

Depois podem ser acrescentadas, nomeadamente, as vontades humanas — as quais podem igualmente descrever-se por funcionais extremandas e fronteiras.

e) Estas funcionais e restrições sobretudo humanas, são em geral variáveis e mutantes.

4.2 — TIPOS DE PROBLEMAS

Já vimos atrás, que a natureza e os homens podem intervir impondo *restrições* e regras de *escolha*.

Normalmente a intervenção exprime-se simultaneamente escolhendo e restringindo, há porém numerosos exemplos onde se exerce ou só escolhendo ou só restringindo.

No quadro junto, admite-se que as intervenções referidas exercitam-se *escolhendo e restringindo*.

As hipóteses de intervenção consideradas no quadro foram:

— da natureza

— de 1 humano

— da mais de 1 humano.

O Quadro é suficientemente claro para dispensar comentários.

Restrições e Funcionais Naturais	Restrições e Funcionais 1 Humano	Restrições e Funcionais > 1 Humano	
1	0	0	Previsões do tempo, do movimento dos astros reacções químicas,etc. Funcionais típicas: entropia, Acção, etc.
1	1	0	Problemas de Comandos, Programa Linear e paramétrico, Pert, etc.
1	0	1	Jogos na natureza ou com a natureza.
1	1	1	Jogos na natureza na posição de 1 versus vários (os mais complexos).
0	0	0	Caos e experimentação de estruturas sobre o Caos.
0	1	0	Paciência — jogo para um só jogador que cria uma regra e a cumpre.
0	0	1	Jogos entre vários jogadores: jogo de cartas, xadres, etc.
0	1	1	Jogos na posição de 1 contra vários.

COMPACTE E CONSTRUA

DEIXE-NOS RESOLVER O SEU PROBLEMA DE FUNDAÇÕES

Em muitos locais onde vão ser edificadas construções sobre terrenos soltos e de fraca consistência, o recusrso às técnicas de VIBROFLUTUAÇÃO E VIBROCOMPACTAÇÃO é a SOLUÇÃO.

São técnicas rápidas, que permitem, pela adição e vibração em profundidade de areia e/ou brita no terreno, a obtenção de uma sólida infraestrutura para a construção.

Os métodos Keller de Vibroflutuação e Vibrocompactação conferem ao terreno elevada capacidade de carga em muitos locais considerados antieconómicos para a construção.

Assim, antes de tomar uma decisão, escreva ou telefone para JOHANN KELLER. O nosso parecer pode fazer-vos poupar dinheiro e possibilitar a realização dos vossos projectos.

JOHANN KELLER

S. R. L.

CAPTAÇÕES DE ÁGUA · REBAIXAMENTOS
AQUÍFEROS · SONDAGENS · CONSOLIDAÇÃO
DE SOLOS · FUNDAÇÕES ESPECIAIS

Av. Costa Pinto, 8, 1.º – Cascais
Telefs. 28 01 46 / 286 44 21
Telex 16122
Telegramas WasserKeller

PORTO DE LEIXÕES

construção da doca nº 4

Este empreendimento, adjudicado já depois do 25 de Abril, foi considerado de grande utilidade para a economia do país. A natureza dos terrenos obrigou a utilizar duas técnicas distintas para a mesma obra. Assim, num total de 1 200 metros de cais acostável 650 serão fundados sobre um tabuleiro apoiado em vigas e estacas de betão armado de grande diâmetro (Ø 1,10 m) e os restantes 580 metros serão constituídos por blocos de betão.

uma empresa a responder às necessidades do País

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, S.A.R.L.

AV. 24 JULHO, 24 · TEL. 690172 · 691302 · 690163 · LISBOA - 2

C. D. U. 532.543.011.1

Utilização de modelos aerodinâmicos no estudo de problemas fluviais

F. LACERDA E MEGRE
Engenheiro Civil (IST)
Estagiário para Especialista do LNEC
L. VEIGA DA CUNHA
Doutor em Engenharia Civil (IST)
Chefe da Divisão de Hidráulica
Fluvial do LNEC

RESUMO

A utilização de modelos aerodinâmicos para o estudo de escoamentos com superfície livre é uma técnica que parece ser digna de interesse, por permitir estudar certos problemas fluviais em modelos de muito menores dimensões do que as dos modelos hidráulicos tradicionais proporcionando, assim, grandes economias. Por isso, foi decidido empreender no LNEC, o estudo dos aspectos teóricos e práticos do estabelecimento e exploração dos modelos aerodinâmicos, com vista à avaliação das suas potencialidades e, eventualmente, à preparação da sua futura utilização de rotina.

Neste artigo faz-se um breve resumo histórico dos modelos aerodinâmicos, refere-se o equipamento, materiais e técnicas de construção a que se recorre, apresentam-se os critérios de semelhança mais significativos, dá-se ideia dos condicionamentos e aplicabilidade desses modelos, descrevem-se as operações de taragem e exploração e comparam-se as vantagens e inconvenientes relativos dos modelos aerodinâmicos e dos modelos hidráulicos tradicionais. Por último relata-se a actividade desenvolvida e em curso no LNEC no âmbito dos modelos aerodinâmicos.

SYNOPSIS

The use of air-flow models for studying open-channel flows seems an interesting technique, because it permits the study of some river problems with smaller models than the traditional hydraulic ones, thus affording great economy. So, it was decided to start at the «Laboratório Nacional de Engenharia Civil» the study of theoretical and practical aspects of establishing and using air-flow models, to evaluate their potentialities and eventually, to prepare their future use.

The paper makes a brief historical summary of air-flow models, refers to equipment, material and construction techniques, shows the most important similar criteria, gives an idea of the restrictions and applicability of air-flow models, describes the problems of its calibration an use and compares the advantages and disadvantages of air-flow models with those of traditional hydraulic ones. Finally it reports on the activity which has been carried out and that is in progress at the LNEC in that field.

1 — INTRODUÇÃO

Como se sabe a utilização de modelos hidráulicos para o estudo de problemas fluviais constitui muitas vezes uma ferramenta da maior utilidade. As dimensões destes modelos são condicionadas por um lado pela extensão do protótipo que se pretende reproduzir, a qual está condicionada, por sua vez, pela natureza do problema a estudar, e por outro lado pelas escalas geométricas do modelo que são fixadas por forma a satisfazer a determinados critérios de semelhança. Na prática os modelos hidráulicos fluviais têm muitas vezes dimensões apreciáveis que implicam encargos consideráveis e criam certas dificuldades na exploração dos modelos.

Com o objectivo de conseguir modelos com menores dimensões foi estudada uma técnica de simulação de escoamentos fluviais com superfície livre recorrendo a modelos com escoamento de ar em pressão, nos quais a superfície livre é simulada por uma placa rígida plana. Estes modelos designam-se por *modelos aerodinâmicos*.

Na realidade, por razões que adiante se discutirão em pormenor, a utilização de ar como fluido no modelo e o facto de o escoamento ser em pressão permite que os modelos aerodinâmicos tenham dimensões muito me-

nores do que os modelos hidráulicos e, consequentemente, sejam mais económicos e em certos aspectos mais fáceis de explorar.

Tanto quanto se sabe, os modelos aerodinâmicos foram utilizados pela primeira vez em 1950 no Instituto de Investigação de Engenharia Hidráulica de Leninegrado na URSS (AVERKIEV 1952) (1). A utilização destes modelos foi sendo progressivamente aperfeiçoada por diversos investigadores dos países do leste da Europa, nomeadamente na própria URSS (AVERKIEV 1954, GILYAROV 1959, LYATKHER e PRUDOVSKII 1959), na Roménia (KAHAN e HÂNCU 1957 e 1958, HÂNCU 1959 e 1967, HÂNCU e FINKELSTEIN 1963), na Hungria (IVICSICS 1966 e 1967), na Checoslováquia (SUMBAL 1961, 1963, 1964-a e 1964-b, KOMORA e SUMBAL 1965, KOMORA 1967) e na Polónia (JUNIEWICZ e AULICH 1958, WALCZAK 1959, JACENKOW e DEMBSKI 1962).

Fora destes países apenas se tem conhecimento de que tenha utilizado estas técnicas para o estudo de problemas fluviais o Laboratório de Hidráulica de Karlsruhe na República Federal da Alemanha (BAW 1970) (2).

Recentemente o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e o «Laboratoire National d'Hydraulique» de Chatou, convictos das possibilidades e do interesse prático dos modelos aerodinâmicos, resolveram estabelecer um programa de colaboração e empreender em conjunto um estudo de base com vista a uma futura utilização de rotina daqueles modelos.

2 — CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MODELOS AERODINÂMICOS

Já se referiu que, nos modelos aerodinâmicos, a superfície livre do escoamento do protótipo é materializada no modelo por uma placa rígida plana que deve ser, transparente e lisa. Transparente para permitir a visibilidade e a visualização do escoamento recorrendo a técnicas fotográficas adequadas. Lisa para assegurar que as perdas de carga sejam tão pequenas quanto possível.

Os modelos aerodinâmicos funcionam normalmente em sucção, assegurada por um ventilador colocado na extremidade de jusante e têm a extremidade de montante aberta para a atmosfera (Fig. 1). O ar entra por esta extremidade e percorre o modelo devido à depressão nele criada. Por vezes, colocam-se redes nas extremidades do modelo, não só com a função de evitar a entrada de poeiras, mas principalmente para assegurar o amortecimento das flutuações do escoamento. Antes de atingir o ventilador, o ar passa por um dispositivo de medição de caudal.

No caso de modelos com fundo móvel haverá necessidade de, a montante do modelo, instalar um dispositivo de alimentação de caudal sólido e, imediatamente a montante do ventilador, colocar um dispositivo de recolha das partículas transportadas através do modelo.

As condutas e transições podem ser de qualquer material, embora a utilização de materiais plásticos apresente a vantagem de provocar perdas de carga reduzidas.

A regulação do caudal de ar no modelo pode ser feita por meio de um regulador da velocidade do motor de um variador de velocidade na transição entre o motor e o ventilador ou à custa de uma comporta colocada junto ao ventilador o que constitui a solução mais económica.

Na medição do caudal de ar escoado nos modelos podem-se utilizar um aparelho deprimogéneo (diafragma ou venturi), um tubo de Pitot fixo ou um simples contador de gás.

O ventilador adequado para estas instalações é do tipo radial corrente no mercado. É aceitável a utilização de um motor eléctrico com velocidade constante, podendo fazer-se a sua montagem acopulada ao eixo do ventilador ou recorrer à utilização de transmissões por correias. Para escolher o ventilador é necessário o conhecimento aproximado das perdas de carga do escoamento ao longo de todo o sistema para a gama de caudais de funcionamento do modelo. A decisão a tomar deverá ter em consideração estes elementos e as curvas características de cada ventilador. Por vezes, quando as perdas de carga são muito elevadas, torna-se necessário utilizar um compressor em substituição do ventilador.

Para se conseguir uma precisão suficiente na reprodução da geometria do protótipo é necessário ter muito cuidado na construção dos modelos aerodinâmicos em consequência das reduzidas escalas utilizadas. Assim os materiais, os instrumentos de moldagem e as técnicas de execução devem ser escolhidas por forma a permitir a precisão desejada.

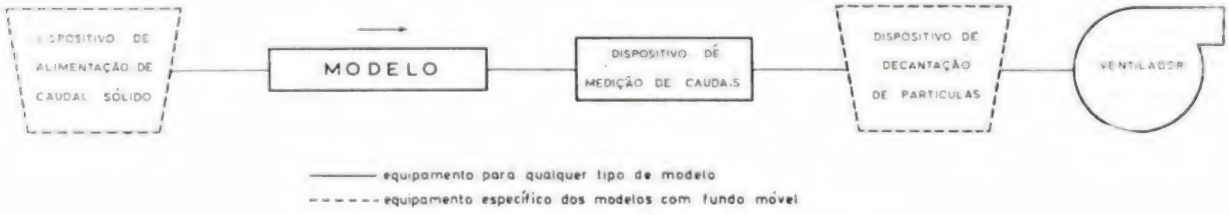


Fig. 1 — Esquema da instalação de um modelo aerodinâmico

(1) — As referências constam da bibliografia que se apresenta no final.

(2) — Também se tem notícia de um caso de utilização de modelos aerodinâmicos para o estudo de problemas hidráulicos no Instituto de Investigação Hidráulica da Universidade de Iowa nos Estados Unidos da América o qual, contudo, não se refere a problemas fluviais (ROUSE 1947).

Os modelos com fundo fixo devem ser construídos com um material facilmente moldável e que assegure a estanquidade. Usa-se com frequência a plasticina, o gesso, a parafina e a estearina. Nos modelos com fundo móvel têm sido utilizados para reproduzir o fundo materiais muito leves que possam ser transportados pelo ar, sendo corrente usar areia fina, carvão ou farinha. Parece provável, contudo, que, entre a vasta gama de materiais sintéticos de que se dispõe hoje em dia, se possam encontrar alguns particularmente recomendáveis para este fim.

A placa que cobre superiormente os modelos deve ser de vidro ou de plástico transparente, podendo ter orifícios em diversas secções transversais para a introdução dos aparelhos de medida. O vidro origina menores flechas que o plástico mas, por outro lado, é mais quebradiço, sendo difícil a abertura dos orifícios. Para evitar flechas inconvenientes da placa, pode-se apoiar esta em pequenos apoios situados no interior do modelo ou ligar a placa a uma estrutura exterior.

É essencial garantir a completa estanquidade de toda a instalação. Assim, todas as juntas e todos os furos existentes na placa quando não estejam a ser utilizados devem ser perfeitamente obturados. Este problema é de certo modo facilitado por o modelo funcionar em subpressão. Normalmente para obturar os furos utilizam-se pequenas tampas de borracha, plástico, cortiça ou outro material e, nas juntas, usam-se tiras de borracha com pequena espessura fortemente comprimidas entre as peças a unir que são, em geral, aparafusadas entre si. Para garantir maior eficiência à vedação pode recorrer-se a fita adesiva.

Os modelos aerodinâmicos são tão pequenos que é possível, em geral, utilizá-los sobre mesas. Os modelos de fundo fixo podem, inclusivamente, funcionar pendurados numa parede, pois nos escoamentos em pressão é desprezável a acção da gravidade. Deste modo o espaço ocupado pelos modelos aerodinâmicos é ainda mais reduzido.

3 — CONDICIONAMENTOS DOS MODELOS AERODINÂMICOS

As escalas lineares dos modelos hidráulicos para o estudo de problemas de escoamentos com superfície livre são normalmente fixadas com base nos dois condicionamentos seguintes:

— necessidade de o escoamento no modelo se processar em regime turbulento rugoso.

— necessidade de respeitar o critério de semelhança de Froude.

O primeiro condicionamento provém da necessidade de assegurar que no modelo, tal como sucede no protótipo, as perdas de carga sejam proporcionais ao quadrado da velocidade. A garantia de o escoamento ser turbulento rugoso é assegurada pela condição (SCHLICHTING 1960):

$$Re_* = \frac{V_* H}{\nu} > 70 \qquad (3.1)$$

onde:

$V_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ — velocidade de atrito no fundo

H — profundidade média do escoamento

ν — viscosidade cinemática do fluido utilizado no modelo

τ — tensão tangencial média no fundo

ρ — massa específica do fluido

O segundo condicionamento resulta de, na maioria dos problemas fluviais haver preponderância das forças da gravidade sobre as forças de viscosidade e tem como consequência a igualdade entre a escala geométrica λ_L e o quadrado da escala das velocidades λ_V : (1)

$$\lambda_L = \lambda^2_V \qquad (3.2)$$

As dimensões mínimas dos modelos hidráulicos são deste modo condicionadas pela necessidade de respeitar os dois condicionamentos referidos.

Uma forma de reduzir as dimensões de um modelo hidráulico seria utilizar no modelo um fluído com menor viscosidade cinemática do que a da água. No entanto este procedimento, em face da gama relativamente reduzida das viscosidades dos fluídos disponíveis nunca permitiria reduzir muito as dimensões do modelo e, além disso, não é económico.

A utilização de modelos aerodinâmicos permite conseguir o regime turbulento rugoso com escalas geométricas muito menores do que as necessárias para se conseguir o mesmo regime dos modelos hidráulicos, porque nos modelos em pressão é possível obter velocidades muito mais elevadas do que nos modelos com superfície livre e, além disso, não se está condicionado pela semelhança de Froude. Deste modo, a utilização de velocidades elevadas não obriga a construir os modelos com grandes dimensões para respeitar a condição imposta pela equação (3.2). Note-se que as velocidades que se utilizam nos modelos aerodinâmicos são suficientemente elevadas para que a condição (3.1) possa ser verificada, apesar de a viscosidade cinemática do ar ser, para as temperaturas correntes de ensaio, maior do que a da água, tal como se pode ver na Fig. 2 onde se mostra a variação da viscosidade cinemática do ar e da água com a temperatura.

A velocidade no modelo deve ter um limite superior, determinado pela compressibilidade do ar e por condicionamentos inerentes à exploração do modelo.

(1) Representa-se a escala de uma grandeza X por λ_X como sendo a razão entre os valores que a grandeza X toma no modelo (X_m) e no protótipo (X_p): $\lambda_X = \frac{X_m}{X_p}$

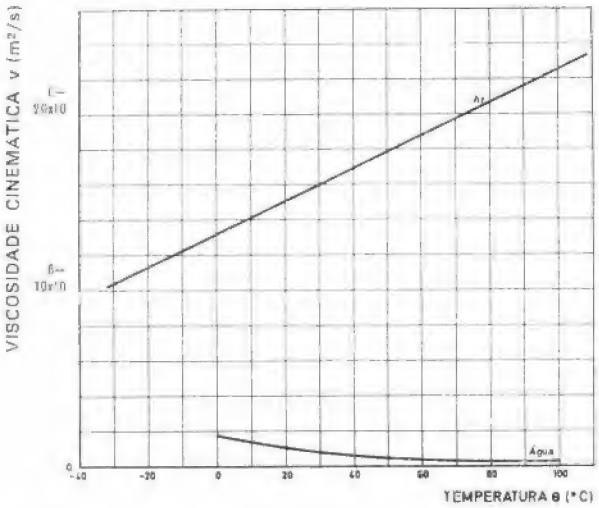


Fig. 2 — Influência da temperatura na viscosidade cinemática do ar e da água

Para se determinar o valor máximo da velocidade pode recorrer-se à análise da influência da velocidade nas diferentes características do ar. Na Fig. 3 está representada a variação da carga dinâmica com a velocidade do ar considerado compressível e incompressível, o que permite concluir que a partir das velocidades da ordem de 100 m/s a compressibilidade do ar começa a introduzir erros significativos. Alguns autores apontam para valor limite superior da velocidade do ar valores ente 50 e 80 m/s. Por razões ligadas com dificuldades de exploração dos modelos e em particular com a garantia de condições de estanquidade, os valores máximos de velocidade utilizados na prática são geralmente bastante inferiores aos condicionados pela compressibilidade do ar, não ultrapassando em regra valores da ordem de 20 m/s. É conveniente notar que o valor limite superior não deve ser atingido em nenhum ponto do modelo,

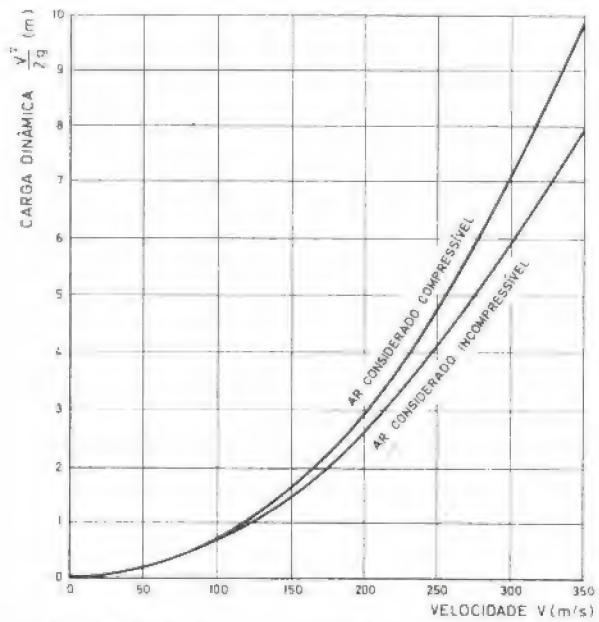


Fig. 3 — Influência da compressibilidade do ar na relação entre a carga dinâmica e a velocidade média

o que obriga a que ele seja respeitado na secção de menor área.

4 — CRITÉRIOS DE SEMELHANÇA UTILIZADOS NOS MODELOS AERODINÂMICOS

Apesar de haver a preocupação de que a placa que simula a superfície livre nos modelos aerodinâmicos seja tão lisa quanto possível, geram-se junto à placa esforços tangenciais maiores do que os correspondentes no protótipo à superfície de contacto ar-água, os quais são, em geral, desprezáveis (Fig. 4 a).

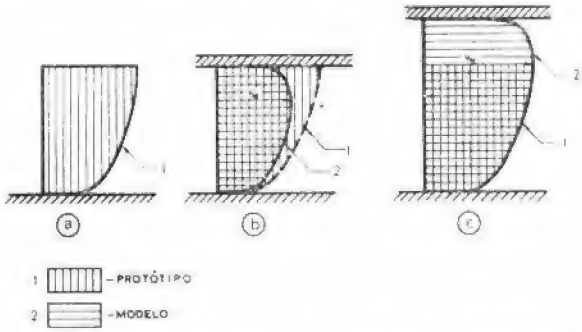


Fig. 4 — Distribuições verticais de velocidade: a) protótpo; b) modelo sem sobreelevação da placa (semelhança global); c) modelo com sobreelevação da placa (semelhança local)

Por consequência, a estrutura cinemática do escoamento é alterada e os diagramas de distribuição vertical de velocidades não se correspondem (Fig. 4 b).

Nos modelos aerodinâmicos adoptam-se critérios de semelhança definidos de acordo com o tipo de problemas a estudar. Quando se pretende apenas conhecer o andamento da superfície livre ou o valor médio de grandezas caracteristicas do escoamento aplicam-se critérios de *semelhança global*. Quando além da superfície livre e dos valores médios das grandezas características do escoamento se pretende conhecer os seus valores locais e, em particular, caracterizar a sua estrutura cinemática (distribuição de velocidades, campo de linhas corrente, etc.) aplicam-se critérios de *semelhança local*.

No primeiro tipo de problemas respeita-se a semelhança geométrica, sendo a placa superior colocada no modelo na posição corespondente à superfície livre do escoamento do protótipo, e despreza-se a semelhança entre os diagramas das velocidades (Fig. 4 b).

Nos problemas do segundo tipo sacrifica-se a semelhança geométrica, sendo a placa elevada para uma posição tal que permita que a superfície das velocidades máximas do modelo fique a corresponder, por semelhança geométrica, à superfície livre do protótipo. Garante-se assim a analogia entre a distribuição de velocidades do protótipo e a distribuição de velocidades na parte inferior do modelo (Fig. 4 c).

Analisa-se em seguida como se costumam estabelecer os critérios de semelhança global utilizados nos modelos aerodinâmicos. A partir da equação de energia aplicada ao escoamento no protótipo e ao escoamento no modelo é possível chegar às seguintes igualdades:

$$\frac{\frac{\Delta p_m}{\gamma}}{\Delta z_p} = \frac{V^2_m}{V^2_p} = \frac{\Delta E_m}{\Delta E_p} \qquad (4.1)$$

onde:

Δz_p — diferença da cota da superfície livre entre duas secções do protótipo

Δp_m — diferença de pressão estática entre as duas secções correspondentes do modelo

V — velocidade média do escoamento

ΔE — perda de energia do escoamento por unidade de peso entre duas secções de referência

γ — peso específico do ar

representando os índices m e p as grandezas que se referem ao modelo e ao protótipo respectivamente.

A partir da primeira igualdade de (4.1) e fazendo $\gamma = \beta g$ chega-se ao seguinte parâmetro adimensional:

$$\frac{g \Delta z_p}{V^2_p} = \frac{\Delta p_m}{\rho V^2_m} = Eu \qquad (4.2)$$

onde:

Eu — número de Euler

ρ — massa específica do ar

g — aceleração da gravidade

Uma vez que

$$\Delta E = \frac{f\ l\ V^2}{8\ g\ R} \qquad (4.3)$$

onde:

f — coeficiente de resistência ao escoamento de Darcy-Weisbach

l — distância entre as duas secções consideradas

V — velocidade média do escoamento

R — raio hidráulico

da segunda igualdade de (4.1) resulta:

$$\frac{f_m\ l_m\ R_p}{f_p\ l_p\ R_m} = 1 \qquad (4.4)$$

ou

$$\frac{\lambda_f\ \lambda_l}{\lambda_R} = 1 \qquad (4.5)$$

Ora, só um dos critérios (4.2) e (4.5) é determinante. HÂNCU 1967 considerou como determinante o segundo o que corresponde a aceitar que a semelhança entre os dois escoamentos fica assegurada se se verificar (4.5) sendo o parâmetro adimensional (4.2) função do parâmetro $\frac{f\ l}{R}$, ou seja:

$$Eu = \varphi\left(\frac{f\ l}{R}\right) \qquad (4.6)$$

No caso particular em que se considerem canais suficientemente largos a relação de escalas (4.5) pode escrever-se:

$$\frac{\lambda_f\ \lambda_l}{\lambda_h} = 1 \qquad (4.7)$$

onde h é a profundidade do escoamento.

Se além de se considerarem canais suficientemente largos o modelo não for distorcido ter-se-á ainda

$$\lambda_f = 1 \qquad (4.8)$$

o que implica que neste caso o factor de resistência no protótipo seja igual ao factor de resistência no modelo.

Atendendo a que o escoamento é uniforme e considerando a fórmula de Strickler

$$V = K_s\ R^{2/3}\ i^{1/2} = K_s\ R^{2/3} \left(\frac{\Delta E}{l}\right)^{1/2} \qquad (4.9)$$

onde:

K_s — coeficiente de rugosidade global de Strickler

i — perda de carga por unidade de peso e de percurso

vem:

$$\lambda^2_v = \frac{\lambda^2_{K_s}\ \lambda^{4/3}_R}{\lambda_l}\ \lambda_E \qquad (4.10)$$

Tendo em conta que (4.5) pode ser expresso por:

$$\lambda^2_V = \lambda_E \qquad (4.11)$$

que se obtém directamente de (4.1), e combinando (4.10) e (4.11) obtém-se:

$$\lambda^2_{K_s} = \frac{\lambda_l}{\lambda^{4/3}_R} \qquad (4.12)$$

Os critérios de semelhança local podem ser também estabelecidos de forma análoga à anterior, bastando ter presente que se aplicam apenas à parte inferior do modelo.

No entanto GILYAROV 1959 e MAKKAVEEV 1959 deduziram critérios de semelhança local a partir das seguintes igualdades:

$$\frac{i_{lm}}{i_{lp}} = \frac{i_{tp}}{i_{tm}} \qquad (4.13)$$

válidos para canais suficientemente largos em que se possa considerar o raio hidráulico igual à profundidade e sendo:

i_{lp}, i_{lm} — inclinação longitudinal respectivamente da superfície livre do protótipo e da placa superior do modelo

i_{tp}, i_{tm} — inclinação transversal respectivamente da superfície livre do protótipo e da placa superior do modelo

GILYAROV 1959 conclui que, no caso da elevação da placa obedecer à relação

$$\lambda^{4/3}_h = \lambda_l\ \lambda^{-2}_{K_s} \left(\frac{h_{im}}{h_m}\right)^{-4/3} \qquad (4.14)$$

onde:

h_m — profundidade total do modelo

h_{im} — profundidade da parte inferior do modelo

a escala de velocidades é dada por:

$$\lambda_V = \lambda^{1/2}_{h_i} \qquad (4.15)$$

onde:

λ_{h_i} — escala das profundidades considerando no modelo apenas a profundidade da sua parte inferior.

Num caso mais geral em que se eleve a placa sem obedecer a (4.14) e também segundo GILYAROV 1959 a escala de velocidades poderá ser calculada pela relação:

$$\lambda_{h_i} = \lambda_V^2 \lambda_C^{-2} \lambda_l \lambda_h^{-1} \left(\frac{h_{im}}{h_m}\right)^{-4/3} \qquad (4.16)$$

onde:

C — coeficiente de Chézy.

5 — TARAGEM E EXPLORAÇÃO DOS MODELOS AERODINÂMICOS

5.1 — GENERALIDADES

À semelhança do que acontece quando se utilizam modelos hidráulicos, também a reprodução correcta em modelos aerodinâmicos dos fenómenos que ocorrem no protótipo não é automaticamente garantida pela construção e exploração dos modelos resultantes da aplicação dos critérios de semelhança a que na prática se recorre. É necessário fazer a taragem dos modelos, isto é, simular nos modelos, construídos de acordo com os critérios de semelhança adoptados, fenómenos que já tenham ocorrido no protótipo.

Pode verificar-se assim, se o modelo reproduz ou não correctamente o protótipo no que se refere aos fenómenos a estudar e, caso não reproduza, torna-se necessário modificar, por tentativas, a rugosidade do modelo até se obter a rugosidade correcta. Esta taragem, efectuada por aproximações sucessivas, é do mesmo tipo da que se realiza nos modelos hidráulicos. Depois de a taragem estar concluída pode passar-se à exploração, ensaiando as obras que se pretendem estudar.

Faz-se notar que tanto na taragem como na exploração dos modelos se deve medir a temperatura do ar, a pressão e a humidade atmosféricas para fazer as necessárias correcções das grandezas afectadas, nomeadamente do peso específico do ar.

Nas duas secções seguintes descrevem-se a taragem e a exploração de modelos aerodinâmicos de fundo fixo quando interessa apenas o estudo de grandezas médias, isto é, seguindo critérios de semelhança global. Não se faz referência à taragem e à exploração dos modelos com fundo fixo quando são seguidos os critérios de semelhança local, nem dos modelos com fundo móvel, por não se conhecerem ainda critérios suficientemente explícitos e inequívocos.

5.2 — TARAGEM DOS MODELOS AERODINÂMICOS

meira equação da expessão (4.1) que se pode escrever:

Analisa-se em seguida o procedimento normal para realizar a taragem de um modelo aerodinâmico concebido por forma a satisfazer a critérios de semelhança global. Aceita-se o critério de semelhança traduzido pela pri-

$$\frac{\dfrac{\Delta p_m}{\gamma}}{\Delta z_p} = \lambda_V^2 \qquad (5.1)$$

onde (Figs. 5 e 6):

$\Delta z_p = z_{1p} - z_{2p}$ — diferença das cotas da superfície livre no protótipo, entre as secções 1 e 2.

$\Delta p_m = p_{1m} - p_{2m}$ — diferença entre valores da pressão no modelo entre as secções correspondentes, 1 e 2.

γ — peso específico do fluído no modelo.

Uma vez que são conhecidas as características geométricas do protótipo e as cotas da superfície livre nas secções 1 e 2 para cada caudal, é possível construir o modelo obedecendo a determinadas escalas geométricas e colocar a placa superior na posição correspondente à superfície livre.

A taragem faz-se, tal como nos modelos hidráulicos, à custa da variação da rugosidade do fundo. A primeira rugosidade a ensaiar pode ser arbitrada, mas, no caso particular de canais muito largos e desde que se conheça a rugosidade do protótipo é possível estimar um primeiro valor da rugosidade do modelo recorrendo à equação (4.12).

Depois de intoduzida no modelo a rugosidade escolhida, faz-se escoar um caudal de ar que apenas tem de obedecer aos condicionamentos gerais indicados em 3. Em geral utilizam-se caudais que correspondam a velocidades da ordem de 20 m/s pelas razões já referidas em 3.

Nesta altura é possível determinar pela equação (5.1) o valor de Δp_m, pois γ e Δz_p são conhecidos e λ_V pode ser calculado a partir dos valores da velocidade conhecida no protótipo e medida no modelo. Como, por outro lado, se pode medir no modelo esse mesmo valor Δp_m apenas há que comparar o valor de Δp_m calculado (Δp_m^c), com o valor de Δp_m determinado experimentalmente (Δp_m^e). Esta comparação pode conduzir a duas situações:

1) $|\Delta p_m^c - \Delta p_m^e| > \delta_1$

2) $|\Delta p_m^c - \Delta p_m^e| \leqslant \delta_1$

sendo δ_1 o erro máximo admissível para a diferença de pressão entre as secções 1 e 2 do modelo.

A situação 1) corresponde a aceitar que a equação (5.1) é verificada, considerando-se, portanto, a taragem realizada como satisfatória.

Se se verificar a situação 2) podem ainda dar-se dois casos diferentes:

2 a) $\Delta p_m^c > \Delta p_m^e$

2 b) $\Delta p_m^c < \Delta p_m^e$.

No primeiro caso a perda de carga do modelo é demasiado pequena, sendo necessário aumentar a rugosidade e repetir o ensaio até que se verifique a situação 1).

No segundo caso é necessário diminuir a rugosidade até que a situação 1) se verifique.

A taragem é válida para qualquer caudal, havendo no entanto vantagem em mantê-lo constante nas diversas fases da taragem. Assim evita-se ter de, para cada tentativa, recalcular o valor Δp_m^c já que deste modo λ_V se mantém constante.

5.3 — EXPLORAÇÃO DOS MODELOS AERODINÂMICOS

Para exemplificar como se faz a exploração de um modelo aerodinâmico considera-se também o caso de um modelo concebido por forma a satisfazer os critérios de semelhança global. O modelo representa-se esquematicamente na Fig. 5 b, estando a secção 1 suficientemente afastada da zona em que se pretende construir uma obra a ensaiar para, por ela, não ser influenciada. Pretende-se utilizando o modelo, prever, para um determinado caudal, a cota z'_{2p} que terá a superfície livre do protótipo na secção 2 depois de construída uma obra, por exemplo de correcção fluvial, que está representada esquematicamente na Fig. 5 c. Para isso recorre-se, tal como na taragem, a um método de aproximações sucessivas que permite determinar a posição da placa superior que corresponde, de acordo com a escala geométrica adoptada para o modelo, à superfície livre do escoamento no protótipo após a construção da obra.

Representa-se então no modelo a obra e coloca-se a placa numa posição que *a priori* se supõe corresponder à nova posição da superfície livre no protótipo, tendo no entanto o cuidado de manter a cota na secção 1, isto é, fazendo $z'_{1m} = z_{1m}$. A cota da placa na secção 2 designa-se por $z'_{2m(1)}$ a que corresponde no protótipo $z'_{2p(1)}$

Para um determinado caudal que se faça escoar no modelo e que obedeça às condições de funcionamento atrás referidas, é possível, atendendo aos valores conhecidos na secção 1, determinar λ_V. Esta determinação já estará feita anteriormente se se mantiver o caudal utilizado na taragem.

De posse destes elementos e medindo a diferença de pressão entre as duas secções de referência, a aplicação da equação (5.1) permite calcular analiticamente um valor da cota da superfície livre na secção 2 após a obra construída que se designa por $z'_{2p(2)}$ e a que corresponde no modelo uma cota $z'_{2m(2)}$

Ao comparar $z'_{2p(1)}$ com $z'_{2p(2)}$ dois casos podem ocorrer:

1) $|z_{2p(1)} - z'_{2p(2)}| > \delta_2$

2) $|z_{2p(1)} - z'_{2p(2)}| \leqslant \delta_2$

onde δ_2 é o erro máximo admissível para a cota da superfície livre na secção 2 do protótipo.

No caso 1) os valores são suficientemente próximos para se concluir que a equação (5.1) é verificada e portanto a posição em que se encontra a placa representa correctamente a superfície livre do escoamento que ocorrerá no protótipo se a obra for realizada. Assim fica conhecida a cota z'_{2p} como se pretendia.

No caso 2) os valores não são suficientemente próximos para que a equação (5.1) se considere verificada e, portanto, é necessário alterar, por aproximações sucessivas, a posição da placa até se conseguir verificar o caso 1) ou, o que é mesmo, satisfazer a equação (5.1).

6 — COMPARAÇÃO DOS MODELOS AERODINÂMICOS COM OS MODELOS HIDRÁULICOS

As vantagens dos modelos aerodinâmicos relativamente aos modelos hidráulicos derivam de uma substâncial economia de material, de tempo e de espaço. Esta economia resulta, por um lado, de se utilizarem modelos com dimensões consideravelmente inferiores às dos modelos hidráulicos e, por outro, de se utilizar como fluido o ar em vez da água.

As principais vantagens dos modelos aerodinâmicos relativamente aos modelos hidráulicos podem-se enumerar da seguinte forma:

— menor ocupação de espaço, o que permite que a área dos laboratórios destinada à instalação dos modelos

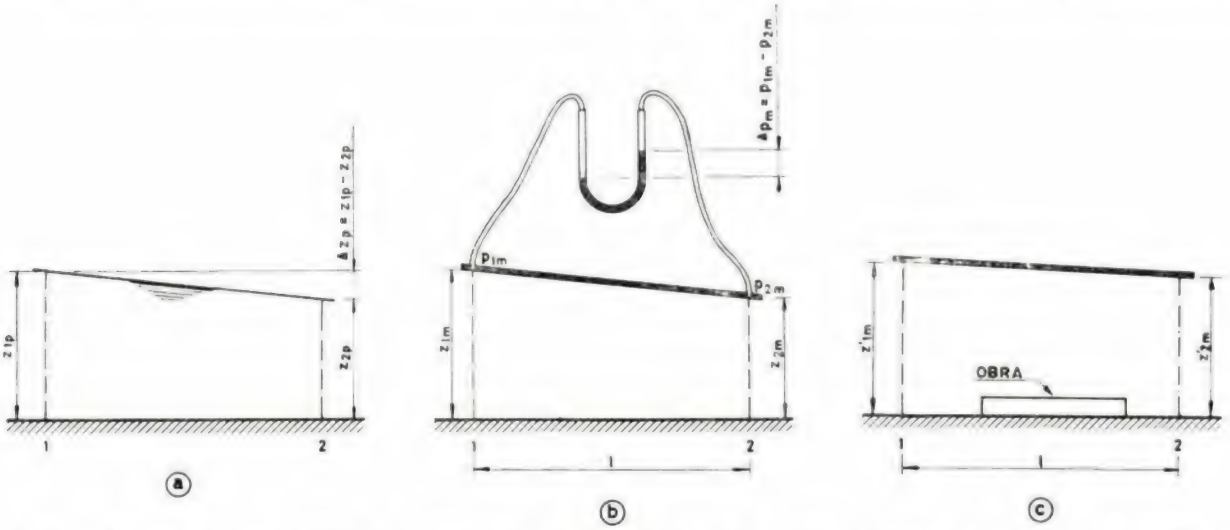


Fig. 5 — Representação esquemática do escoamento em corte longitudinal: a) protótipo (escoamento da água com superfície livre); b) modelo (escoamento de ar em pressão); c) idem, com obra implantada no leito

seja consideravelmente reduzida e possibilita que se reproduzam nos modelos maiores troços dos rios a estudar;

— menor quantidade de material e mão-de-obra utilizados tanto na construção dos modelos como nas modificações que se têm de introduzir durante os ensaios;

— maior possibilidade de recuperar, quando da destruição dos modelos, grande parte do material para construção de novos modelos;

— maior economia na instalação, por se dispensarem circuitos hidráulicos, com reservatórios de montante e de jusante, e sistemas de bombagem mais ou menos complexos; com efeito nos modelos aerodinâmicos os reservatórios são o próprio ar atmosférico e o sistema de bombagem é um simples ventilador accionado por um motor eléctrico com potência relativamente pequena;

— maior comodidade e rapidez na exploração dos modelos;

— maior possibilidade de ter uma visão global dos fenómenos que ocorrem nas zonas a estudar.

No caso de modelos com fundo móvel os modelos aerodinâmicos permitem ainda, relativamente aos modelos hidráulicos, as seguintes vantagens:

— menor quantidade de material aluvionar utilizado;

— maior facilidade na exploração e consequentemente redução da duração dos ensaios;

— maior simplicidade nas operações de moldagem e levantamento da topografia dos fundos.

Os inconvenientes dos modelos aerodinâmicos relativamente aos modelos hidráulicos resultam, na sua maior parte, da necessidade de materializar a superfície livre do escoamento do protótipo por uma placa rígida e da maior delicadeza de que se reveste a construção dos modelos e o trabalho experimental. Estes inconvenientes dos modelos aerodinâmicos relativamente aos modelos hidráulicos podem-se enumerar da forma seguinte:

— menor correcção na representação do escoamento do protótipo por existirem, junto à placa que simula a superfície livre, tensões tangenciais que alteram a estrutura cinemática do escoamento e afectam o gradiente de velocidades;

— impossibilidade de reprodução de escoamentos rapidamente variados devido à presença da placa que tem uma posição fixa;

— necessidade de se utilizarem instrumentos de medida mais precisos e sensíveis e exigência de maior cuidado e precisão na construção dos modelos.

Pelo que se disse, vê-se que os inconvenientes mais correntemente apontados aos modelos hidráulicos, tais como as grandes dimensões, a necessidade de dispor de grandes caudais, os elevados custos e os dilatados prazos de realização de ensaios, são muito satisfatoriamente superados nos modelos aerodinâmicos, embora, por vezes, à custa de uma certa redução de precisão. No entanto, em grande numero de casos verifica-se que os modelos aerodinâmicos dão resultados suficientemente precisos e permitem substituir com grande economia de custos e de tempo os modelos hidráulicos. Além disso, mesmo quando os modelos hidráulicos não possam ser completamente dispensados, os modelos aerodinâmicos constituem um meio suficientemente seguro para uma primeira selecção das hipóteses inicialmente encaradas ou permitem a definição das condições de fronteira a utilizar posteriormente em modelos hidráulicos que reproduzam áreas mais circunscritas representadas a escalas maiores.

7 — APLICABILIDADE DOS MODELOS AERODINÂMICOS

Como se viu em virtude de nos modelos aerodinâmicos a superfície livre do escoamento no protótipo ser simulada por uma placa rígida, estes modelos são adequados para o estudo de problemas em que o escoamento é permanente, não se aplicando normalmente a casos de escoamento variável. Além disso, uma vez que a placa além de ser rígida é, em princípio, plana, os modelos aerodinâmicos são particularmente úteis para o estudo de escoamentos permanentes gradualmente variados, cuja superfície livre se pode considerar praticamente plana para as extensões reproduzidas nos modelos.

Os modelos aerodinâmicos permitem estudar tanto escoamentos com fundo fixo como escoamentos com fundo móvel. No entanto, no estudo dos escoamentos com fundo móvel a natureza dos resultados que é possível obter é diferente no caso da fase líquida e no da fase sólida.

Na realidade, a fase líquida é susceptível de melhor caracterização, uma vez que se podem obter resultados tanto de carácter qualitativo, como, por exemplo, identificação de linhas de corrente e turbilhões, como de carácter quantitativo, como, por exemplo, medição de velocidades pontuais, de caudais e de pressões.

Relativamente à fase sólida os resultados obtidos são meramente qualitativos, embora seja suficientemente correcta a reprodução de fenómenos morfológicos locais ou globais e, portanto, das erosões e assoreamentos, da meandrização, etc.

Embora haja um grande número de problemas que podem ser completamente resolvidos pelo recurso aos modelos aerodinâmicos, dispensando-se, portanto, a construção de modelos hidráulicos, outros existem em que os resultados obtidos com base nos modelos aerodinâmicos não são, só por si, suficientemente correctos, devido principalmente à deformação das características cinemáticas do escoamento ocasionada pela placa, havendo portanto vantagem em recorrer aos modelos hidráulicos.

Porém, mesmo neste último tipo de problemas, justifica-se muitas vezes a construção simultânea de um modelo hidráulico e de um modelo aerodinâmico pela grande economia que se consegue. Por um lado, a construção de um modelo aerodinâmico que abranja uma região mais vasta no protótipo permite obter, em pouco tempo, condições de fronteira correctas para um modelo hidráulico que reproduza uma zona mais restrita do protótipo. Por outro lado, o modelo aerodinâmico pode permitir ensaiar rapidamente um grande número de alternativas para a resolução do problema em estudo. Assim, só as alternativas que se revelem mais convenientes

serão posteriormente ensaiadas num modelo hidráulico em maior escala para se escolher a solução definitiva para o problema.

8 — ACTIVIDADE DO LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL RELACIONADA COM O ESTUDO DOS MODELOS AERODINÂMICOS

Por se considerar que os modelos aerodinâmicos podem constituir uma preciosa ferramenta para o estudo dos problemas fluviais, muito útil e insuficientemente explorada em todas as suas potencialidades, o LNEC decidiu promover um estudo sistemático desta nova técnica com vista a esclarecer certos aspectos do funcionamento dos modelos aerodinâmicos e a possibilitar a sua futura utilização de rotina. Este estudo foi lançado em colaboração com o «Laboratoire National d'Hydraulique» de Chatou que também estava interessado no problema.

Previu-se que o trabalho a realizar no LNEC fosse executado nas quatro fases seguintes:

1.ª fase: — apropriação de conhecimentos

2.ª fase: — aquisição de aparelhagem e construção de instalações piloto

3.ª fase: — esclarecimento de diversos problemas recorrendo às instalações piloto

4.ª fase: — duplicação de um caso concreto estudado em modelo hidráulico.

Na 1.ª fase procedeu-se a uma exaustiva pesquisa bibliográfica e traduziram-se alguns artigos e obras que se consideraram mais significativos (visto que grande parte dos textos fundamentais está publicada em idiomas não acessíveis) tendo-se elaborado um relatório de síntese que constitui o documento que serve de base para o prosseguimento do trabalho.

Ainda nesta fase foi realizada uma visita de estudo extremamente proveitosa ao «Instituto de Investigação para a Recuperação de Terras e a Gestão das Águas» de Bucareste na Roménia, ao «Instituto de Investigação para o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos» (VITUKI) de Budapeste na Hungria, ao «Instituto de Investigação de Hidrodinâmica» (VUV) de Bratislava na Checoslováquia e ao «Instituto Federal para as Obras Hidráulicas» (BAW) de Karlsruhe na Alemanha Federal, laboratórios e equipamento necessários para a exploração dos modelos aerodinâmicos e construiram-se instalações piloto.

Na 2.ª fase procedeu-se à aquisição de aparelhagem e equipamento necessários para a exploração dos modelos aerodinâmicos e construiram-se instalações piloto.

Entre a aparelhagem de medição adquirida ou construída nas oficinas do LNEC inclui-se um conjunto com termómetro, higrómetro e barómetro, dois micromanómetros simples de álcool inclináveis, um multimanómetro de álcool inclinável, duas sondas para medição de velocidades (um tubo de Pitot e uma sonda esférica tipo esfera de Pitot) e um suporte para sondas permitindo medir as rotações e deslocamentos verticais das sondas (Fig. 6).

As instalações piloto compreendem um conjunto fixo a jusante, constituído por dispositivo de medição

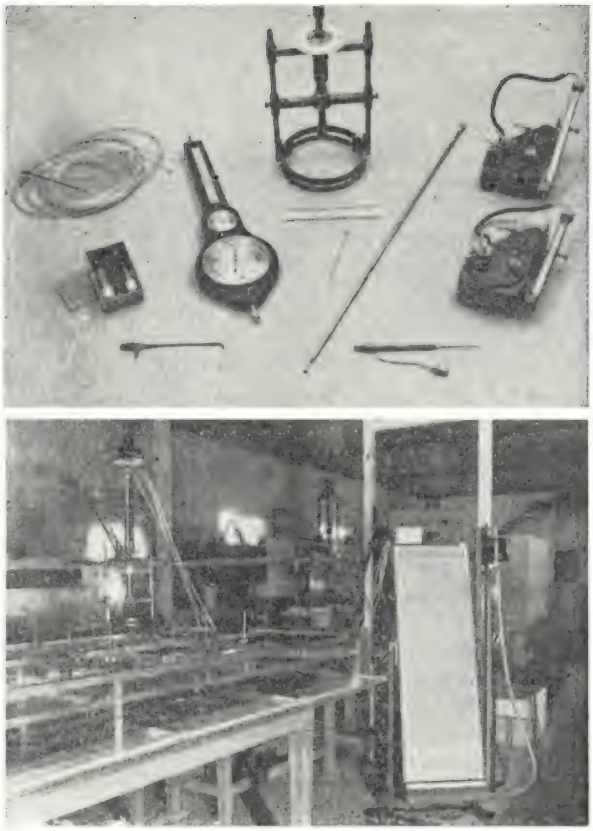


Fig. 6 — Aparelhagem utilizada nos modelos aerodinâmicos

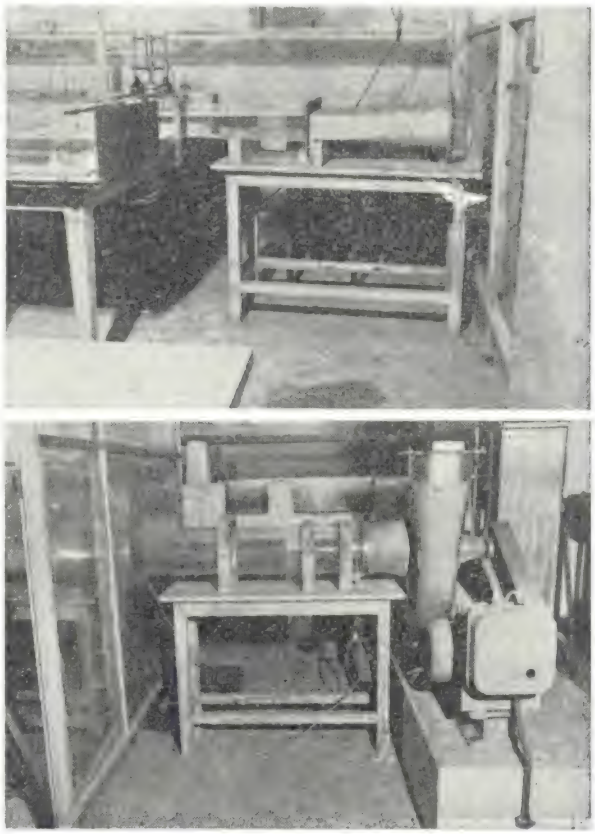
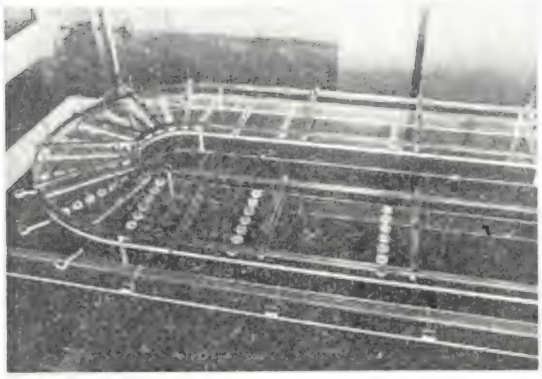


Fig. 7 — Aspecto do troço de transição de jusante, sistema de medição de caudais e ventilador

de caudais, ventilador e transições de secção (Fig. 7), a montante do qual é possível adaptar diferentes modelos. Os dois modelos até agora construídos (Fig. 8) têm secção rectangular com altura regulável em virtude de a placa superior ser móvel. Esta placa tem uma série de orifícios para introdução das sondas de medição dispostos em diversas secções. Os dois modelos diferem apenas em planta pois um deles é rectilíneo e o outro tem forma de U.



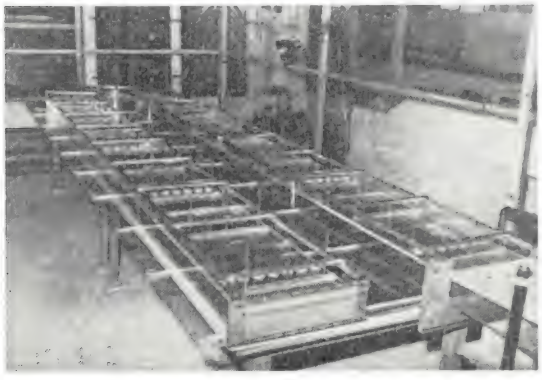


Fig. 8 — Aspecto dos modelos rectilíneo e em U

A 3.ª fase, que está em curso, consta de um trabalho experimental com o objectivo de verificar a validade dos conceitos teóricos em que se fundamenta a concepção, exploração e taragem dos modelos aerodinâmicos, de ensaiar a aparelhagem de medida e de tomar contacto com as dificuldades que possam surgir na exploração dos modelos. Um dos pontos que requer especial atenção é o problema da reprodução de correntes secundárias nos modelos aerodinâmicos, em particular as resultantes dos escoamentos em curvas. Para a realização deste estudo tem particular interesse a instalação piloto curvilínea a que se fez referência.

Paralelamente decorre o estudo teórico, incidindo especialmente no estudo dos critérios de semelhança a adoptar para simular escoamentos de água com superfício livre por meio de escoamentos de ar em pressão, pois os autores que estudaram o problema não estão completamente de acordo quanto aos critérios de semelhança a utilizar nem os fundamentam devidamente numa perspectiva racional.

Por fim, na 4.ª fase, prevê-se a construção de um modelo aerodinâmico duplicando um caso concreto que esteja a ser estudado em modelo hidráulico, para assim se poderem comparar as medições de exploração e os resultados dos modelos aerodinâmicos com os dos modelos hidráulicos.

Após o termo desta última fase pensa-se poder começar a utilizar os modelos aerodinâmicos com carácter de rotina nos numerosos problemas em que a sua utilização parece ser vantajosa.

BIBLIOGRAFIA

AVERKIEV, A. G. 1952 — *Novyi metod gidravlicheskikh model'nykh issledovanii* (Une nouvelle méthode d'essais hydrauliques en modèle). Izvestiya VNIIG, *57*, Leningrad, 1952.

AVERKIEV, A. G. 1954 — *Opyt primeneniya aérodinamicheskoi modeli dlya gidravlicheskikh issledovanii rek* (Application d'un modèle aérodynamique aux études d'hydraulique fluviale). Izvestiya VNIIG, *52*, Leningrad, 1954.

BAW 1970 — *Aerodynamische Modelle im wasserbaulichen Versuchswesen* (Les modèles aérodynamiques dans l'étude experimentale des oeuvres hydrauliques). Tätigkeitsbericht der Bundesanstalt für Wasserbau 1968-1969; Karlsruhe, 1970, p. 46 (LNEC).

GILYAROV, N. P. 1959 — *Emploi des modèles aérodynamiques dans l'étude des cours d'eau.* Traduction n.º 779 de EDF. Extrait de Izdatel'stvo Akad. Nauk, SSSR, Moscou, 1959. (LNEC-61203).

HÂNCU, S. 1959 — *Studiul fenomenelor morfologice ale albiilor de riuri pe modele aerodinamice.* (Étude des phénomènes morphologiques des lits de rivières sur modèles aérodynamiques). Studii de hidraulică experimentală, ISCH, Bucuresti, 1959.

HÂNCU, S. 1967 — *Modelarea hidraulică in curenti de aer sub presiune* (L'utilisation des modèles à air sous pression pour l'étude des problèmes hydrauliques). Editura Academici Republicii Socialiste România, Bucuresti, 1967. (LNEC).

HÂNCU, S. e FINKELSTEIN 1963 — *Unele probleme ale analogiei hidrodinamice in modelarea processelor de albie* (Quelques problèmes d'hydro-aérodynamique

analogie dans des modèles des lits des rivières. Studii de hidraulică, ISCH, Bucureşti, 1963. (LNEC-59273).

IVICSICS, L. 1966 — *Résolution de quelques problèmes théoriques liés aux essais sur maquettes à air.* Rapport d'activité sur les Recherches Effectuées en 1966. (LNEC).

IVICSICS, L. 1967 — *Conversion of velocities in air-flow models.* Sbornik Vysokého Ucéni Technického v Brnó (Travaux du Polytechnicum de Brno), 1967. (LNEC-59277).

JACENKOW, B. I. e DEMBSKI, B. 1962 — *Zwezki skalowe dla modeli powietrznych stosowanich w badaniach hydrotechnicznych* (Reduction des échelles dans les modèles aérodynamiques employés dans les études hydrotechniques) Gospodarka wodna, 10, Warszawa, 1962.

JUNIEWICZ, S. e AULICH, J. 1958 — *Application de l'analogie aéro-hydrodynamique dans l'étude des constructions hydrotechniques.* Traduction n.° 553 de EDF. Extrait de Archiwum Hydrotechniki, Polska Akademia Nauk, vol. V, fasc. 1, 1958. (LNEC-60616).

KAHAN, M. e HÂNCU, S. 1957 — *Étude des écoulements hidrauliques à surface libre sur des modèles aérodynamiques.* AIRH-VII Congrès, Lisbonne, 1957. (LNEC-24632).

KAHAN, M. e HÂNCU, S. 1958 — *Étude de quelques problèmes hydrotechniques en soufflerie à air.* Traduction 627 de EDF. Extrait de Revista Hidrotehnica, No. 1 e No. 2, 1958. (LNEC-61202).

KOMORA, J. 1967 — *Pouzitie aerodynamického modelu pre Vyskum prúdenia v siroky plytkej nádrzi* (The use of the aerodynamic model for the investigation of streamflow in a wide shallow reservoir). Bratislava, Vyskumny Ustav Vodohospodársky, 1967. (LNEC-52198).

KOMORA, J. e SUMBAL, J. 1965 — *Étude sur les modèles aérodynamiques de la sédimentations des débits solides en suspension dans les retenues:* La Houille Blanche, No. 2 Grenoble, 1965, p. 149-157. (LNEC).

LYATKHER, V. M. e PRUDOVSKII, A. M. 1959 — *Problèmes divers concernant les modèles aérodynamiques en charge de cours d'eau.* Traduction 780 do EDF. Izdatel'stvo Akad. Nauk. SSSR, Moscou, 1959. (LNEC-60618).

MAKKAVEEV, V. M. 1959 — *L'étude des cours d'eau sur des modèles aérodynamiques. La structure des écoulements d'eau a l'air libre.* Traduction 778 de EDF. Extrait de Izdatel'stavo Akad. Nauk. SSSR, Moscou, 1959. (LNEC-60617).

ROUSE, H. 1947 — *Use of the Low-Velocity Air Tunnel in Hydraulic Research.* Reprinted from Proceeding of the third Hydraulics Conference, Bulletin 31, University of Iowa Studies in Engineering, Iowa, 1947. (LNEC-8719).

SCHLICHTING, H. 1960 — *Boundary Layer Theory.* Mc Graw-Hill Book Company, 1960. (LNEC-37533).

SUMBAL, J. 1961 — *Príprava k teoreticko-experimentalnej stúdii metodiky vyskumu riecnych procesov vo vzduchovom prúde* (Sur l'étude théorique-expérimentalo de la méthode de recherche de l'érosion des lits des rivières en tunnels aérodynamiques). Bratislava 1961.

SUMBAL, J. 1963 — *Vyskum metodiky vysetrovania riecnych procesov vo vzduchovom prúde* (Recherche sur la méthode d'étude de l'évolution des lits des rivières en des tunnels aérodynamiques). Záverecna zpráva, VUV, Bratislava, 1963.

SUMBAL, J. 1964 — *Uvahy o moznosti pouzitia aerodynamického modelu pre priamy vyskum zanásania zdrzi plaveninami* (Les considérations sur la possibilité d'application d'un modèle aérodynamique pour la recherche directe de la sédimentation des suspensions dans les retenues). Vodohospodársky casopis, 1, 1964.

WALCZAK, P. 1959 — *Zastosowanie powietrza w modelowych badaniach hydraulicznych* (Application d'air dans les études hydrauliques sur modèle). Archiwum Hydrotechniki, VI, 1, Warszawa, 1959, p. 97-105. (LNEC).

Feiras, Conferências, Exposições e Congressos

OBJECTIVOS E PROGRAMA	LOCAL, DATA, ORGANIZAÇÕES E INFORMAÇÕES
1.º Colloque Européen sur le Contrôle de la Qualité de la Construction	Madrid 11 - 12 - 13 de Novembro - 75
Feira Internacional de Guatemala	Guatemala 1 a 17 de Novembro - 75
VI ène Colloque International — ITA sur «La Clientèle ou Transport Aérien en 1980	Paris 19 a 21 de Novembro - 75
Feira Técnica Internacional	Lima 12 a 23 de Novembro - 75
ELFACK — 75 Feira Internacional de Electrónica	Gutemburgo - Suécia 26 a 30 de Novembro - 75
Brazil's 1 st Internacional Mechanical Engineering and Electronic Trade Fair	São Paulo 20 a 30 de Novembro - 75
International Mechanical Engineering and Electro-Electronic Trade Fair	São Paulo - Brasil 20 a 30 de Novembro - 75
3.º Journees Internationales Informatique et Industrie «La Telegestion dans l'Industrie»	Paris 29 a 30 de Janeiro - 76
Concrete and Aggregates Industries Look Forward to Giant Houston Show in'76	Houston - Texas 1 a 5 de Fevereiro - 76
Internacional Spring Fair	Birmingham 1 a 5 de Fevereiro - 76
PRO — IN'76 Congresso Internacional e Exposição de Novidades	Düsseldorf 21 a 25 de Fevereiro - 76
IMONTA'76 — Internationale Messe für Schwertransport und Montage-Technik	Düsseldorf 25 a 29 de Fevereiro - 76
DIDACTA — European Educational Materials Fair	Basel 23 a 27 de Março - 76

convectores eléctricos

EFACEC

calor
EFACEC
calor de prestígio

MODELO **4M**

O NOSSO SERVIÇO DE ASSISTENCIA

A construção dos aparelhos diferenciais eléctricos DEMAG não é uma solução de compromisso, o que está provado pelos milhares de aparelhos em serviço, em mais de 100 países, desde há dezenas de anos. No entanto, mesmo o melhor produto necessita de alguma assistência, com determinados intervalos. Assim, por exemplo, e segundo as normas de prevenção de acidentes, os aparelhos DEMAG deverão ser inspeccionados uma vez por ano. É evidente que se gasta um ferodo, ou que deve o mesmo ser reajustado. Igualmente, deverão ser verificados, com regularidade, os cabos e as suas guias. Vs. próprios poderão executar estes trabalhos, ou utilizar os nossos serviços de assistência.

Uma sugestão: Solicitem a nossa Assistência. Desta forma não terão preocupações. Basta um telefonema. O mesmo poderão fazer se precisarem urgentemente de uma peça subressalente.

A propósito: pelo aumento da produção e por medidas de racionalização foi-nos possível reduzir, consideravelmente, os nossos prazos de entrega.

Queiram enviar-nos o talão (em baixo, do lado direito). Teremos muito gosto em informar-vos acerca dos nossos serviços de assistência ou do nosso programa de fabrico.

ROMAR
UMA ORGANIZAÇÃO AO SERVIÇO DA INDÚSTRIA

LISBOA
R. DA BOAVISTA, 83-1.º D
TELEF. 60 31 31

•

PORTO
R. DE SÁ DA BANDEIRA, 589
TELEFS. 25871 - 32205

EXPONHA-NOS O SEU PROBLEMA
O NOSSO GABINETE TÉCNICO ENCONTRARÁ A SOLUÇÃO ADEQUADA

C. D. U. 628.5

Sobre a aplicabilidade dum modelo à previsão da poluição atmosférica

M. TERESA PONTES
Eng.ª Química (IST)
Investigador do IST
Núcleo de Estudos de Engenharia Mecânica

RESUMO

Este artigo destina-se a pessoas que, não estando muito familiarizadas com modelos de previsão de poluição atmosférica, estejam mais interessadas em conhecer as suas potencialidades do que as bases físicas do processo.

Descreve em termos gerais as utilizações mais correntes destes modelos nomeadamente planificação da utilização do solo, avaliação de estratégias de controle e funcionamento de sistemas de alerta.

Os modelos Gaussianos, apesar das suas limitações, têm permitido obter resultados satisfatórios, são de utilização fácil e necessitam pouco tempo de computador, pelo que lhes é dado especial relevo. Referem-se os dados necessários ao funcionamento destes modelos assim como as informações que podem fornecer.

No N. E. E. M. foi desenvolvido um modelo Gaussiano de fontes múltiplas e tem sido realizado trabalho conducente a um modelo geral de previsão de poluição baseado na resolução das equações da camada limite atmosférica e de difusão turbulenta.

ABSTRACT

This paper is mostly intended to potential users of air pollution models and to those more interested in solving a particular problem than on the physical processes involved.

It describes in broad terms the more common use of pollution models namely planification of land use, survey on control strategies and alert systems.

Gaussian models are particularly valuable for solving this class of problems as, in spite of their limitations, they lead to adequate results, are simple to use and require little computer time. Reference is made to the input data requirements and to the type of information the model can provide.

A multiple source Gaussian model was developed at NEEM. Work on a general model based on the solution of the atmospheric boundary layer and turbulent diffusion equations is under way.

1. INTRODUÇÃO

A planificação do controle da poluição do ar deve ter em conta as relações entre as *emissões* de substâncias na atmosfera e as *concentrações* medidas na atmosfera. As repercussões sobre a saúde e os outros efeitos nocivos devidos à poluição do ar são proporcionais às concentrações de substâncias tóxicas transportadas pela atmosfera; os níveis de qualidade do ar ambiente são portanto geralmente expressos sob a forma de concentrações máximas permitidas. Contudo os programas de controle só indirectamente podem afectar as concentrações reduzindo as emissões para a atmosfera.

A avaliação da eficácia dum programa de redução das emissões necessita da utilização dum modelo que permita transformar os dados relativos às *emissões* — especialmente localizadas — em dados sobre a qualidade do ar em toda a região tratada.

Dum modo geral um modelo de previsão da qualidade do ar pode ser definido como um esquema de cálculo utilizando as informações respeitantes às emissões, parâmetros meteorológicos, topográficos, etc., fornecendo perfis de concentrações dos vários poluentes atmosféricos. A maior parte dos modelos operacionais foi concebida considerando os processos de transporte e de difusão das substâncias na atmosfera e são geralmente chamados *modelos de difusão atmosférica*.

A utilização dos modelos de previsão de poluição do ar é geralmente classificada em três categorias:

1. *Planificação para utilização do solo*

Compreendendo as zonas industriais, estradas, «cinturas verdes», etc., para obter uma qualidade de ar aceitável em toda a região em causa.

2. *Avaliação da estratégia de controle*

Em sentido absoluto (tal estratégia dará uma qualidade de ar aceitável?) e em sentido relativo (por ex. eficácia económica de várias estatégias).

3. *Funcionamento dum sistema de alerta*

Identificando as ocasiões em que são necessárias reduções de emissão a curto prazo.

É necessário ter em conta a precisão que é possível obter com a utilização dum modelo de previsão.

A incerteza de cada tipo de dados (parâmetros de emissão, factores meteorológicos e medidas da qualidade do ar), associada à incerteza na descrição dos fenómenos de transporte atmosférico, leva à adopção de grandes margens de erro para a maior parte dos cálculos dos modelos.

Tanto no caso de modelos de previsão a longo prazo (planificação, avaliação de estratégias) como a curto prazo (sistemas de alerta), a precisão das previsões nunca pode estar contida em limites estreitos como por exemplo $\pm$ 10 %.

A precisão das previsões por modelos é função das escalas de tempo e de espaço e da precisão dos dados fornecidos para a utilização do modelo. Por exemplo, as previsões referentes às concentrações médias anuais, estabelecidas para uma grande região urbana sobre a qual se possuem informações aceitáveis sob o aspecto meteorológico, topográfico e sobre as emissões, podem apresentar uma falta de precisão sistemática indo nos modelos correntes até $\pm$ 25 %. Noutro caso, as previsões relativas às concentrações máximas quotidianas no interior duma região geográfica mais pequena podem apresentar um factor de imprecisão de 2 ou mais. Estes números referem-se a modelos de tipo gaussiano.

Apesar dos elevados erros próprios dos modelos de previsão, o emprego destes modelos é a solução mais racional para a avaliação dos programas de redução das emissões.

2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO MODELO GAUSSIANO

2.1 Modelo Matemático

Os modelos para a previsão da poluição atmosférica mais frequentemente utilizados são baseados numa representação empírica das plumas provenientes de fontes de poluentes.

Para uma fonte pontual contínua a equação empírica da pluma mais frequentemente utilizada em cálculos de modelos é o modelo de Pasquill-Gifford.

$$\overline{C}\ (x, y, z; H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\overline{u}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \tag{1}$$

$$\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\}$$

em que $\overline{ox}$ coincide com a direcção do vento; $\overline{oz}$ com a direcção vertical e $\overline{oy}$ transversal.

σ_y , σ_z — desvio padrão de distribuição de poluente nas direcções horizontal e vertical, respectivamente, função da distância à fonte x e da classe de estabilidade de Pasquill (m).

admitindo:

— velocidade do vento constante $\overline{u}$ (m/s)

— fonte pontual de intensidade Q (mg/s) à altura efectiva H (m)

— gradiente de concentração nulo ao nível do solo

$$\left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)_{z=0} = 0$$

Para as grandes zonas urbanas em que o número de fontes individuais é demasiado grande para que cada uma seja tratada separadamente é normal o agrupamento das fontes de importância relativamente pequena (caldeiras de aquecimento, automóveis, etc.) numa fonte superficial ou linear, tratando-se individualmente apenas as grandes fontes (centrais térmicas, grandes indústrias).

A extensão do modelo de fontes pontuais de modo a incluir também fontes superficiais e/ou lineares é feita seguindo a metodologia utilizada na dedução do modelo de fontes pontuais.

2.2 Restrições

A equação (1) apresenta alguns aspectos essenciais:

a) A equação representa uma conservação de massa e um perfil derivados dum grande número de referências «in situ» sobre a dispersão atmosférica.

b) A equação da pluma representa concentrações médias; um tempo médio de 1 h pode ser considerado como representativo, dependendo da altura da emissão H e da estabilidade das características do vento.

c) A equação é representativa de condições estacionárias sendo muito menos válida no caso de mudanças rápidas das condições meteorológicas.

d) Supõe-se que o eixo da pluma é horizontal e despreza-se o perfil vertical do vento.

e) O modelo não toma em conta as perdas de material por lavagem por chuvas, precipitação, reacção química, etc. Este factor torna-se mais importante à medida que aumenta o tempo de permanência na atmosfera e para efeitos a longa distância.

f) O modelo não tem em conta os efeitos de topografia local nem da proximidade de vastas superfícies líquidas.

g) A equação não pode ser aplicada a condições de calmaria em que u = 0. Este é, de resto, o principal defeito inerente aos modelos da fonte pontual efectiva para aplicação a sistemas de alerta; o risco de episódios de forte poluição atmosférica é tanto maior quanto mais fracos e variáveis são os ventos.

2.3 Tipos de poluentes utilizados para as previsões

O emprego de SO_2 e/ou CO como medida da poluição não significa que sejam estes os poluentes mais perigosos do ponto de vista da saúde ou económico mas as informações de que se dispõem sobre estas duas substâncias são mais numerosas do que sobre os outros poluentes.

A maior parte dos modelos de previsão, sejam modelos a curto ou a longo prazo, têm sido baseados nas emissões e concentrações de anidrido sulfuroso. O SO_2, além de ser um dos poluentes mais abundantemente emitidos, serve como indicador das concentrações dos outros poluentes usuais sobretudo nos períodos de estagnação atmosférica.

Quando se quer avaliar a poluição causada pelos veículos automóveis é costume utilizar o monóxido de carbono que é emitido quase exclusivamente nos gases do escape dos motores de combustão interna (entre 80 e 90 %).

Quando o estudo diz respeito a áreas essencialmente residenciais, comerciais e industriais e/ou centrais térmicas, é preferível escolher o SO_2.

Em relação ao CO, os outros poluentes apresentam problemas especiais. O SO_2 está sujeito a várias transformações químicas. As partículas atmosféricas provêm de muitas fontes naturais e artificiais.

Quando a outros poluentes emitidos pelos veículos automóveis como NO_x e hidrocarbonetos, as suas concentrações têm sido medidas em poucos locais.

Outros poluentes como o chumbo e o arsénio podem pôr problemas sérios em algumas regiões mas não têm sido utilizados como base para modelos de planificação ou sistemas de alerta.

2.4. Dados necessários ao funcionamento dum modelo Gaussiano

Para calcular a concentração provável num receptor devida a uma única fonte, é indispensável ter informações sobre a potência e elevação da pluma, as posições da fonte e do receptor em relação à direcção média do vento e os parâmetros meteorológicos usuais. Para conhecer o efeito de fontes múltiplas sobre um receptor único (caso dum modelo urbano) basta adicionar as contribuições de cada fonte simples.

Finalmente, para obter concentrações médias num período longo, calculam-se as concentrações possíveis resultando dum certo número de condições meteorológicas standard e calcula-se uma concentração média ponderada.

2.4.1 Parâmetros das emisões

As técnicas de colheita aos dados das emissões supõem o emprego de:

a) questionários submetidos directamente aos principais emissores ou mesmo a todas as indústrias implementadas na região controlada;

b) inspecções e controle das fontes, sobretudo no caso dos maiores emissores simples (poucas chaminés de grande potência);

c) recenceamento da população, das habitações particulares e das construções comerciais;

d) recenceamento do tráfego automóvel;

e) registos industriais que frequentemente catalogam os processos industriais por tipo, dimensão e localização;

f) dados sobre a produção de energia eléctrica em centrais térmicas.

O tipo de fonte está relacionado com o poluente utilizado no modelo. No caso do anidrido sulfuroso apresentam-se normalmente fontes pontuais e superficiais; estas substituem o grande número de pequenas fontes individuais. Se se trata do óxido de carbono, consideram-se fontes lineares pois a maior parte do CO provém de motores de combustão interna. Se se escolhem outros poluentes como representativos para uma dada área (No_x, hidrocarbonetos) determinam-se as fontes representativas considerando os tipos de fontes existentes na região estudada.

No caso de grandes fontes fixas, tratadas individualmente nos modelos de fonte pontual efectiva é desejável que se reunam as seguintes informações sobre as emissões:

a) Força média da emissão (para cada chaminé ou cada processo)

b) Carácter das emissões (contínuas, interrompidas, ocasionais)

c) Regime típico das emissões no tempo (variabilidade em função da hora do dia, do dia da semana, da estação do ano, da temperatura, da procura de produção)

d) Detalhes das emissões (altura e diâmetro da chaminé, velocidade e temperatura do efluente, outras chaminés e construções próximas)

e) Reduções possíveis das emissões em caso de urgência (combutíveis depurados, paragem parcial do processo)

Este último dado é particularmente útil para os modelos de alerta; estes dados permitem examinar os melhoramentos possíveis resultantes das diferentes reduções de emissão. Podem ser igualmente avaliados os custos dos sistemas de alerta e as despesas associadas aos diferentes graus de redução das emissões.

No caso de fontes móveis, um inventário completo das emissões destinado ao cálculo por modelos deve incluir:

a) densidade do tráfego, agrupado por tipo de veículo

b) taxas de emissões, agrupadas por tipo de veículo e por ciclo de operação (aceleração, cruzeiro, desaceleração, ralenti)

c) Ciclos operatórios para cada tipo de veículo, para cada ramificação e cruzamento de estradas na região estudada. Os dados deverão incluir a variabilidade segundo a hora do dia, o dia de semana, a estação do ano e as situações especiais.

O inquérito deve ser feito segundo uma forma adaptada ao funcionamento do modelo dependendo da utilização do modelo (planeamento, alerta, etc.) o detalhe nos dados.

2.4.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados nos modelos gaussianos são de quatro tipos: velocidade e direcção do vento, estabilidade da atmosfera e profundidade da camada de mistura.

Em geral os dados meteorológicos são medidos em poucos locais, muitas vezes apenas no aeroporto que serve a região tratada quase sempre em zona não urbana e normalmente plana. O emprego de tais dados meteorológicos nos cálculos das concentrações de poluentes em zonas urbanas pode introduzir erros importantes cujo peso deve ser avaliado para cada região em estudo.

É desejável que se disponha de dados meteorológicos referentes à zona estudada em vários locais, se a zona for grande e heterogénea.

a) Velocidade e direcção do vento

Na maior parte dos cálculos de modelos, utilizam-se valores únicos para a velocidade e direcção do vento na região estudada, muito embora possa haver mais que um local de medição. Neste caso, os valores adoptados são a média das observações realizadas nos vários locais.

A velocidade e direcção do vento deveriam ser determinadas à altura do eixo da pluma; o mais vulgar é serem utilizados valores de superfície visto que são raras as medidas aerológicas suficientemente detalhadas.

Os cálculos da concentração de poluentes por modelos gaussianos são especialmente sensíveis aos erros na direcção do vento pelo que é desejável que se disponha de observações da direcção do vento feitas nas zonas estudadas.

b) Estabilidade atmosférica

Os cálculos dos modelos gaussianos de fontes múltiplas exigem o conhecimento dos coeficientes de dispersão da pluma σ_y e σ_z .

Estes parâmetros podem ser avaliados a partir de medidas da flutuação dos ventos horizontais e verticais ou dos dados de estabilidade atmosférica (método de Pasquill-Gifford) [1].

Baseando-se num conjunto extenso de observações Pasquill pode relacionar os coeficientes de dispersão com condições meteorológicas locais que agrupa em seis classes de estabilidade, de extremamente instável (classe A) a moderadamente estável (classe F), a partir do valor da velocidade do vento à superfície e da insolação diurna ou cobertura de nuvens nocturna.

Este método não é tão fiável como as determinações a partir da sondagem de temperatura; em contrapartida, é de fácil e rápida aplicação, sendo estes dados meteorológicos disponíveis em muitas zonas.

À medida que se vão instalando equipamentos de medida dos ventos para dar apoio a programas de fiscalização de poluição atmosférica, é desejável que se montem instalações e serviços capazes de medir e registar continuamente a flutuação dos ventos.

c) Profundidade da camada de mistura. Altura da base da camada de inversão

Os dados sobre a profundidade da camada de mistura são obtidos a partir de sondagens verticais de temperatura e da temperatura superficial.

As sondagens verticais de temperatura para aplicação em fenómenos de dispersão de poluentes devem ser feitas com pequenos incrementos de altitude na zona da baixa camada limite atmosférica (primeiras centenas de metros) de modo a que se obtenha um perfil com suficiente resolução.

Quando não existem dados de sondagem vertical numa dada região, podem utilizar-se dados provenientes de estações de observação distantes para avaliar a profundidade da camada de mistura (altura base da camada de inversão). O perfil de temperaturas da atmosfera a partir de altitudes de cerca de 200 m passa a ser geralmente controlado por fenómenos meteorológicos à escala sinoptica. É portanto possível fazer interpolações aceitáveis de perfis de temperatura vertical para distâcias horizontais podendo atingir 300 km. No entanto a utilidade destes dados extrapolados é limitada por duas influências:

a) a estrutura da atmosfera inferior pode ser modificada por efeitos de grandes aglomerações urbanas.

b) quando as condições atmosféricas estão a mudar as sondagens verticais feitas a 300 km da região estudada podem não ser representativas desta região.

2.4.3. Topografia

As características topográficas influenciam muito os fenómenos de transporte no interior da camada limite planetária. Os modelos gaussianos de fontes múltiplas não têm em conta os efeitos da topografia nem qualita-

QUADRO I

ESQUEMA DOS PLANOS DE CÁLCULO PARA MODELOS DE «FONTE PONTUAL EFECTIVA»

I. PARA CADA PAR FONTE-RECEPTOR

PARÂMETROS DA FONTE	PARÂMETROS DO RECEPTOR	PARÂMEROS METEOROLÓGICOS
1. Taxa de emissão. 2. Altura efectiva da fonte. 3. Localização efectiva da fonte.	1. Localização. a. Distância à fonte. b. Localização em relação à direcção do vento 2. (Duracão da exposição).	1. Direcção e velocidade do vento. 2. Classe de estabilidade. 3. Profundidade da camada de mistura.

EQUAÇÃO DA PLUMA NO ESTADO ESTACIONÁRIO
Concentração possível no receptor devida à fonte

II. PARA VÁRIAS FONTES AFECTANDO O RECEPTOR

Adicionar a contribuição de cada fonte individual.

III. PARA UMA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DURANTE UM PERÍODO LONGO, NO RECEPTOR, DEVIDA A VÁRIAS FONTES

Calcular as concentrações correspondentes a cada elemento num grupo standardizado de direcções de vento, velocidades de vento e medidas de estabilidade atmosférica.

Em seguida calcular a concentração média ponderada pela frequência normalizada de ocorrência para cada uma das combinações dos elementos meteorológicos.

tiva nem quantitativamente, mas estes efeitos podem ser tratados por meios «ad hoc» quando se dispõe de medidas «in situ» para verificar e melhorar os cálculos dos modelos.

2.4.4. Medidas da qualidade de ar

Os dados relativos às medidas da qualidade do ar não sendo necessários como dados de entrada (condições iniciais) para o funcionamento do modelo de fontes múltiplas, são indispensáveis ao melhoramento e verificação dos esquemas de cálculo do modelo. A variabilidade dos fenómenos locais, afectando os processos de transporte e de dispersão atmosféricos é tão ampla que se torna necessário testar, para cada região, as possibilidades dos modelos.

As medidas das concentrações de poluentes apresentam bastantes dificuldades. Mesmo quando os aparelhos funcionam com uma precisão óptima, 2 aparelhos iguais colocados lado a lado numa estação de observação fornecem muitas vezes valores diferentes. A correlação entre os resultados dos modelos e as medidas da qualidade do ar não podem ser melhores que o grau de reprodutibilidade das próprias medidas.

3. EMPREGO DO MODELO DE POLUIÇÃO DO AR NO ESTABELECIMENTO DE SISTEMAS DE ALERTA. A AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA/CUSTO DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

Dadas as repercuções na saúde pública devidas à exposição das populações e também plantas e materiais e concentrações elevadas de poluentes, é indispensável que os organismos de controle possam prever esses períodos a fim de reduzir as emissões na expectativa de condições desfavoráveis.

Um dos aspectos em que os modelos de previsão da poluição do ar são particularmente úteis é na preparação de previsões a curto prazo e estabelecimento de sistemas de alerta em regiões urbanas. Essas previsões referem-se a situações esperadas dentro de um ou dois dias e são geralmente consideradas como «previsões para 36 horas».

3.1. Precisão das previsões

Para explorar ao máximo as possibilidades dum modelo de previsão, reduzindo ao mínimo os riscos de decisões erradas, a avaliação da precisão deve fazer parte das informações que servem de base às decisões relativas aos controles de urgência. Uma análise regular da precisão resultante de previsões correntes é o melhor método de avaliação da precisão dos métodos de previsão.

As correcções podem ser propostas e introduzidas pelo pessoal que opera o modelo o qual fica a conhecer as possibilidades e limites do mesmo e pode formular os melhoramentos empíricos às técnicas de previsão.

QUADRO II

GAMAS DE ERROS TÍPICOS PARA OS MODELOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA DO TIPO «FONTE PONTUAL EFECTIVA»

	Estações individuais	Médias urbanas
Cálculos a curto prazo (de 1 hora a 1 dia)	1,0	0,5
Cálculos a longo termo (de 1 mês a 1 ano)	0,35	0,2

A gama do erro é definida como a média RMS de

$$\frac{\text{conc. observada} - \text{conc. calculada}}{\text{conc. observada}}$$

Como já foi referido e se conclui do Quadro II, a precisão dum modelo aumenta como período de tempo a que ele é aplicado e com o tamanho da região.

3.2 Informações a obter dos cálculos dos modelos

Geralmente, os cálculos de modelos dão as redes possíveis de concentração na região controlada desde o instante presente até vários instantes futuros.

O modelo de previsão pode fornecer os seguintes tipos de informação específicas:

1) mapas indicando os sectores da região controlada em que as normas aplicáveis à qualidade do ar serão provavelmente ultrapassadas;
2) valores previstos para as concentrações máximas e suas localizações;
3) concentrações previstas nos centros povoados da região controlada;
4) duração prevista do período de forte concentração;
5) redes de concentração resultantes dos vários controles de emissão possíveis.

Na maior parte das vezes as informações necessárias são fornecidas mais eficazmente na forma de mapas preparados em computador.

3.3 Período de tempo necessário para desencadear um alerta

Os períodos de tempo necessários para desencadear um alerta são determinados pelo «tempo de reacção»

para estabelecer as medidas de controle e são limitados pela duração das previsões meteorológicas a utilizar como dados de base para o cálculo dos modelos.

O *tempo de reacção* para alertas a curto prazo pode ser de algumas horas ou durar um ou dois dias, segundo os tipos de emissões a controlar, a existência dum plano de urgência pré-estabelecido e as comunicações possíveis.

O tempo total de reacção é a soma de três parcelas:

a) Duração das comunicações

Se se trata de alertar apenas algumas grandes fontes (centrais térmicas, grandes indústrias), o tempo é muito curto. À medida que aumenta o número de fontes, aumenta o tempo de comunicação; no caso de toda uma população (redução do tráfego automóvel) a transmissão pode durar meio dia.

b) Tempo de execução

O tempo necessário para a execução de ordens de controle das emissões pode variar entre uma e várias horas, de acordo com as operações necessárias (modificação de combustível, interrupção de processo, paragem de tráfego), etc.

c) Tempo necessário para que a redução das emissões afecte a qualidade do ar.

Como os períodos de forte poluição provocada por emissões a baixa altitude correspondem a períodos de vento fraco, pode haver várias horas de diferença entre as reduções das emissões e uma melhoria notável de qualidade do ar local.

Determina-se um «tempo de ventilação» para uma determinada zona dividindo um comprimento característico da zona pela velocidade média do vento.

3.4. Emprego de modelos de sistema de alerta para a avaliação da eficácia e custo do controle

A maior parte das medidas urgentes de controle a curto prazo que os organismos podem impôr (por ex., interrupção da produção industrial e dos transpotes, emprego de combustíveis depurados) introduzem encargos suplementares à economia. Naturalmente as decisões de impôr tais controles devem apoiar-se sobre uma base adequada de dados e conhecimentos experimentais.

Dispondo um organismo dum modelo de controle para a previsão da poluição a curto prazo, modificado e verificado para a região, o organismo pode utilizar esse mesmo modelo para avaliar a eficácia das diferentes medidas de controle de urgência propostas para a região.

Também estes modelos podem ser utilizados para estimar o custo das medidas de controle de urgência a adoptar desde que se conheçam as várias opções de controle e se tenha estimado o preço de todos os elementos deste plano de controle: preço de combustíveis depurados para as centrais ,refinarias e instalações de aquecimento de grandes edifícios comerciais, perda de produção resultante de abrandamento ou interrupção duma operação industrial, o valor do tempo perdido se o pessoal de empresas comerciais e industriais largar o trabalho antes da hora de saída e o valor da perda do trabalho nos centros comerciais cujas actividades são entravadas pelas restrições obrigatórias nos transportes. O modelo poderia ser utilizado para avaliar o custo dos diferentes planos e apesentar estes dados aos responsáveis dos organismos de controle que, bem informados, poderão tomar a decisão mais adequada considerando ainda factores que não foram incluídos quantitativamente na análise feita pelo computador.

4. NECESSIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO E EMPREGO DE MODELOS

4.1. Normas de qualidade de ar

É necessário que sejam adoptadas normas de qualidade de ar ou valores indicativos recomendados a ser obedecidos pela atmosfera da região a modelar.

4.2. Implementação do modelo gaussiano em computador

Foi desenvolvido no N. E. E. M. «Um modelo gaussiano para a dispersão de poluentes na atmosfera no caso de fontes múltiplas pontuais e inversão de temperatura» [2]. No modelo estabelece-se uma rede horizontal uniforme sobre um mapa da região a estudar. As malhas são quadradas e nos modelos correntes a dimensão do lado da malha tem variado entre 0,5 e 10 km, segundo a aplicação do modelo e a precisão dos dados fornecidos ao modelo. Malhas de 1 e 2 km têm sido usadas com frequência.

O modelo [2] está implementado num calculador Hewllet Packard 30 acoplado ao qual existe um traçado de gráficos HP 9862 que permite que as saídas se façam sob a forma de mapas de linhas de isoconcentração. Esta forma é geralmente utilizada pois permite uma verificação rápida de quais as zonas atingidas por altas concentrações.

O calculador HP30 é programável em BASIC pelo que a implementação do modelo em FORTRAN — quase universalmente usada em cálculo científico — é simples e rápida. O calculador tem 5856 palavras de memória e, na fase actual, o modelo admite 10 fontes pontuais e 1296 nós de rede O número de fontes pode ser aumentado diminuindo o número de malhas da rede e vice-versa para o mesmo tempo de cálculo.

Sendo necessário utilizar um número de fontes superior, é possível fazê-lo sobrecarregando o tempo de execução no computador.

Como foi acentuado, este modelo pertence a um tipo de modelos bastante grosseiros com um número apreciável de restricções. No entanto têm sido e continuam a ser extensivamente utilizados nos U. S. A. e U. K. como base a sistemas de alerta, para planificação de regiões, e avaliação de estratégias de controle.

No N. E. E. M. têm sido desenvolvidos métodos numéricos de diferenças finitas que permitem a resolução de sistemas de equações às derivadas parciais de tipo parabólico [3] a [6] assim como modelos de turbulência [7].

Estes meios permitem-nos resolver as equações fundamentais do escoamento da atmosfera na zona em que so dispersam os poluentes (camada limite), assim como a difusão turbulenta desses memos poluentes.

A vasta literatura publicada sobre o assunto indica claramente uma evolução, dos modelos simplificados do tipo gaussiano ou outros, para os métodos baseados na resolução das equações fundamentais. No entanto estes métodos são morosos, exigem computadores de grande capacidade, dados muito detalhados e precisos quanto às taxas de emissão e condições meteorológicas.

Os modelos deste tipo encontram-se ainda em fase de investigação e desenvolvimento.

4. 3. Dados necessários

Os dados necessários ao funcionamento do modelo gaussiano podem classificar-se em:

a) Parâmetros das fontes — sua localização e características, nomeadamente: taxa de emissão, altura, diâmetro interior da boca, velocidade de saída e temperatura dos gases à saída.

b) Parâmetros meteorológicos — velocidade e direcção do vento, classe de estabilidade segundo Pasquill, altura da camada de mistura ou altura da base da camada de inversão e temperatura da atmosfera.

c) Medidas da qualidade de ar — não sendo necessárias ao funcionamento do modelo, são-nos para teste, validação e ajustamento do modelo à região a que é aplicado.

Qualquer que seja o tipo de modelo de previsão que se utilize, os dados referidos são sempre necessários podendo variar um pouco a forma sob que são apresentados.

A recolha dos parâmetros das fontes é uma tarefa morosa e pesada; muitas vezes é nesta zona em que é necessário investir mais esforço pelo que é aconselhável iniciar a recolha duma forma sistemática e adaptada ao funcionamento do modelo com a antecedência possível.

BIBLIOGRAFIA

1 — Slade, D. M. (ed.) — Meteorology and atomic energy — USAEC. 1968.

2 — Domingos, J. J. D. e M. Teresa Pontes — Um modelo gaussiano para a dispersão de poluentes na atmosfera. Técnica (Julho 1975).

3 — Domingos, J. J. D. — Numerical solution of the boundary-layer equations and some underlyng mathematical principles (1970) — Seminário na Univ. de Minnesota.

4 — Domingos, J. J. D. e Filipe, J. M. C. — A comparative study of differrence schemes for the solution of

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial F}{\partial x_i}$$

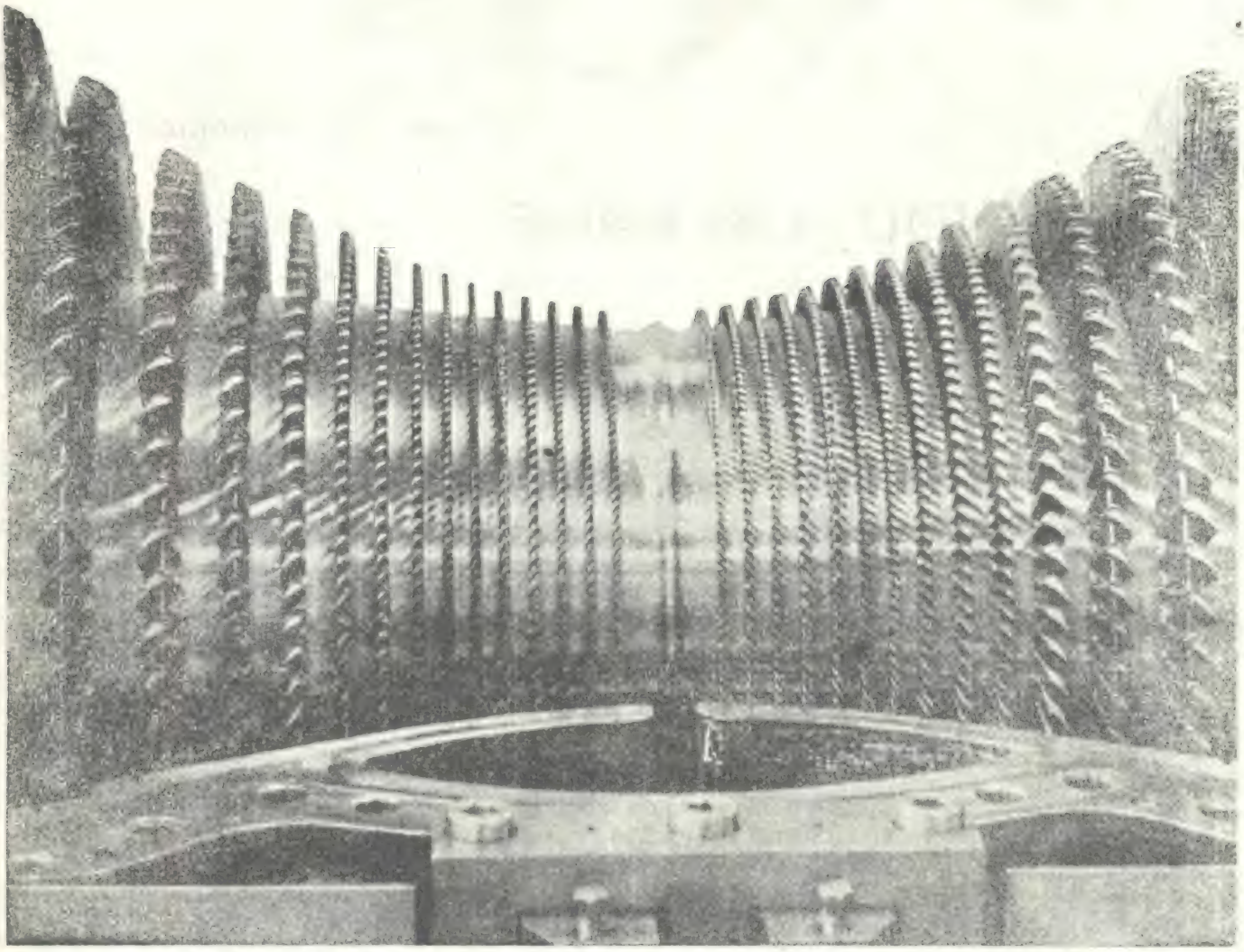
Lecture Notes in Physics (1972) Vol. 18.

5 — Domingos, J. J. D. e Filipe, J. M. C. — A general computer program for coupled sets of quasilinear parabolic in three independent variables (1972) — DTA Report RC/13.

6 — Santos, J. J. A. dos, e Filipe, J. M. C. — Guia de utilizador para o programa EPA 3012 (1972) — DTA Report RC/14.

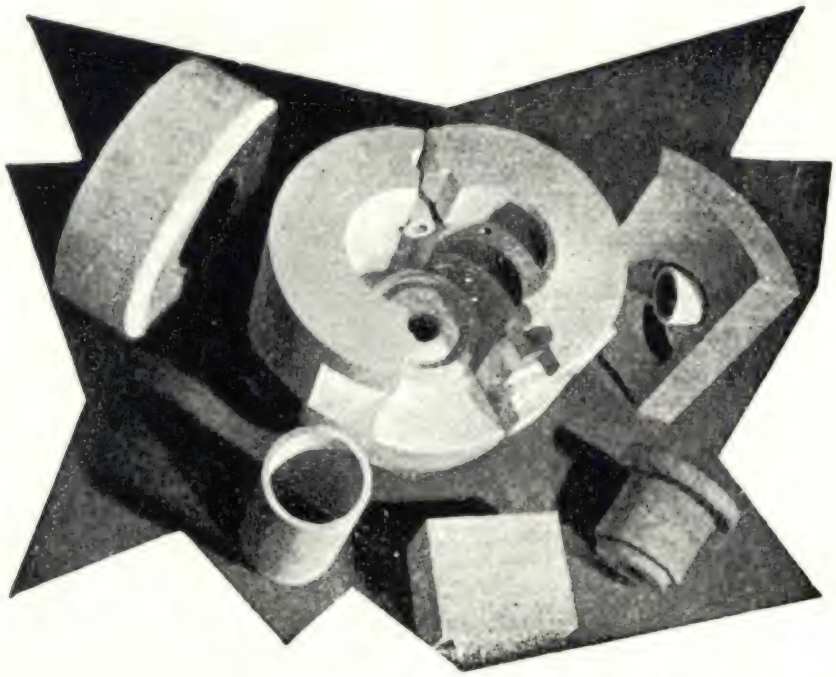
7 — Domingos, J. J. D. — Turbulence models and their experimental verification (1971) — Técnica.

BBC
BROWN BOVERI



a técnica moderna emprega

BETÕES REFRACTÁRIOS



à base dos cimentos

FONDU LAFARGE

e

SECAR 250

porque são

práticos
eficientes
económicos

REFRACTÁRIOS ATÉ 1800° C

REFRACTÁRIOS ISOLANTES ATÉ 1700° C

Os nossos serviços técnicos, especializados, estão à vossa inteira disposição para estudar, sem qualquer encargo da vossa parte, a adaptação dos BETÕES REFRACTÁRIOS a todos os vossos problemas

AGUIAR & MELLO L.DA

P. do Município, 13-1.º — LISBOA — Tel. 32 11 51/2

C. D. U. 620.19.013:669 018

"Electrochemical basis of metallic corrosion in melts"

C. A. C. SEQUEIRA

ABSTRACT

After pointing out the electrochemical nature of corrosion reactions in molten salts, an account of the essential parameters concerning the electrochemical corrosion phenomena is presented. Emphasis is given to the electrodics of corrosion; based on the «Erdey-Gruz-Volmer» theory and on the «acid-base concept» of Lux and Flood a relationship between the corrosion potential and the function pO^{2-} is derived. Diagrams in which the equilibrium potential E in the metal-fused salt system is plotted against the activity of oxide ion in the melt are developed, using the Pourbaix method of data presentation; as an example, an E-pO^{2-} diagram is constructed for nickel at 900° C, in contact with molten sodium sulphate, and its limited nature as an aid to corrosion control is summarized. The need for study of metal corrosion in terms of electrochemical kinetics is indicated. Further, it is suggested to apply the newer electrochemical techniques to the study of corrosion kinetics in high-temperature media.

RESUMO

Uma vez apontada a natureza electroquímica da corrosão metálica em meio fundido, descrevem-se os parâmetros teóricos essenciais da termodinâmica e cinética electroquímica da corrosão. Dá-se relevância à electrocinética da corrosão; com base na teoria de «Erdey-Gruz-Volmer» e nos conceitos de ácido e base segundo Lux-Flood, estabelece-se uma relação entre o potencial de corrosão e o cologaritmo da actividade oxigeniónica do electrólito fundido. Introduzem-se os diagramas de equilíbrio E-pO^{2-}, cuja construção se faz segundo o método de Pourbaix, de representação de dados termodinâmicos; exemplifica-se com a construção de um diagrama E-pO^{2-} para o sistema Ni-Na_2SO_4 a 900° C. Finalmente, sugere-se que se encare a corrosão metálica nas misturas fundidas, em termos da cinética electroquímica, recorrendo-se às técnicas transientes, usadas em electroanálise, para o estudo da cinética e mecanismos dos processos corrosivos.

ELECTROCHEMICAL NATURE OF ATTACK

Theoretical considerations of the corrosion phenomena have often been considered inaccessible, mainly due to the great complexity of the corrosion processes. It is generally agreed today that several factors with different physicochemical characteristics can play an important role in the mechanisms of corrosion. However, despite these difficulties, corrosion problems have been successfully interpreted in recent years.

Particularly over the last thirty years, corrosion studies have demonstrated that the primary process between the corroding metal and corrodent is electrochemical in nature; attack is basically a chemical reaction accompanied by the transfer or displacement of electrons (Evans and Hoar 1932). Electrochemical theory today rests secure in its application to corrosion phenomena in aqueous media (Evans 1960).

If molten salts are regarded as infinitely concentrated aqueous solutions it is a natural step to try to formulate a description of corrosion in them on the basis of concepts like those which have been developed for aqueous solutions. The main difficulty here is that the problem is not completely similar to an aqueous system, and it is, therefore necessary to assess other electrochemical parameters. Besides, whilst in aqueous solutions metals are virtually insoluble in the electronated state, in fused salts they can be appreciably soluble, corrosion occurring, in such cases, without the de-electronation of the metal. In spite of this the electrochemical approach for molten salt systems was put forward about forteen years ago and is finding general acceptance. Experiments carried out by Baudo et al. (1970), Burrows and Hills (1966, 1970), Cutler (1971), Janz and Cont (1964), Littlewood and Argent (1962), Sequeira (1974), et al. have contributed considerably in this respect.

There have been some objections concerning electrochemical interpretations of corrosion based in the thermodynamics and kinetics of electrochemistry. In fact, these theories are restricted to cases well defined and

checked by experience. They cannot, however, include all the simultaneous corrosion processes. Following these essential considerations, some basic concepts of electrochemistry are discussed; modern electrochemical views of corrosion in molten salts are also included and a synthesis of all the miscellaneous aspects considered have been put together.

THE SINGLE POTENTIAL OF AN ELECTRODE

In the most general sense of the word, an electrode is a system consisting of two phases in contact with each other, which can be the seat of an electrode reaction, i. e. a reaction in which certain constituents of the two phases participate and by which a transfer of charge takes place from the bulk of one phase to the bulk of the other. In a more restricted sense an electrode is defined as a system metal/electrolyte or metal/solution of one or several electrolytes.

It has been shown over the last 70 years that at the interface of two phases one finds an electrical double layer with a characteristic potential (Adam 1938, and Butler 1940). The origin as well as the characterisation of the electrochemical double layer on a metal immersed in an aqueous electrolyte have been extensively studied. Similar studies in melts have been carried out only recently. This paper is not intended to deal with this aspect in detail but the subject is mentioned because of its importance. Very good reviews on the subject have been published by Devanathan and Tilak (1965), Graves et al. (1966), and Ukshe et al. (1964).

Returning to the subject of this section, let the inner electric potential of the metal be Φ_M and that at a remote point in the molten electrolyte be Φ_s. Moreover, let $\Delta\Phi$ represent the Galvani electric potential across the electrochemical double layer, i.e. $\Delta\Phi = \Phi_M - \Phi_s$. When a dynamic equilibrium across the double layer is set up, the electrochemical free energy of one mole of metal in the surface will be equal to the electrochemical free energy of one mole of ions on the melt side of the double layer:—

$$\tilde{\mu}_M = \tilde{\mu}_s \qquad (1)$$

or

$$\mu_M + nF\Phi_M = \mu_s + nF\Phi_s$$

and

$$\mu_M - \mu_s = -nF\Delta\Phi \qquad (2)$$

$\mu_M - \mu_s$ is the chemical energy balanced by the electrical energy liberated as the ions M^{n+} traverse the double layer; F is Faraday's constant and n is the number of free electrons exchanged at the M^{n+}/M interface. It is impossible to measure $\Delta\Phi$ directly but, if the metal/melt electrode system is coupled «back-to-back» with a second arbitrarily chosen electrode system, it is possible to obtain a relative potential difference. If a zero potential and a convenient reference scale of potentials is defined, the combined system acts as a cell between whose electrodes there exists an e.m.f. given by

$$E_{0,1} = \Delta\Phi - \Delta\Phi_R \qquad (3)$$

(assumed zero)

$E_{0,1}$ is called the single potential of the M^{n+}/M electrode on the chosen standard reference scale. Considering now a more concise electrode reaction

$$\Sigma_i \ \nu_i \ M_i + n\ e^- = 0 \qquad (4)$$

where M_i represents the constituents of the electrode taking part in the reaction and e^- represents the electron, the corresponding conditions of dynamic equilibrium can be expressed in the general form

$$\Sigma_i \ \nu_i \mu_i - nFE_{0,1} = 0 \qquad (5)$$

Relating the chemical potentials, μ_i, to the standard chemical potential, μ_i^0, equation (5) can be put into the form

$$RT\Sigma \ \nu_i \ \mathrm{Log}\{M_i\} = -\Sigma_i \ \nu_i \ \mu_i^0 + nFE_{0,1} \qquad (6)$$

Changing from natural to Briggsian logarithms, the last relation can be rewritten in the form

$$E_{0,1} = E^0_{0,1} + \frac{2.3026\ RT}{nF} \Sigma_i \ \nu_i \log\{M_i\} \qquad (7)$$

in which $E^0_{0,1}$ has the following value in terms of the standard chemical potentials of the reactants

$$E^0_{0,1} = \frac{\Sigma_i \ \nu_i \ \mu^0_i}{nF} \qquad (8)$$

Equation (7) is the Nernst equation. $E^0_{0,1}$ is the single potential of the electrode measured when the activity of every constituent of the system is equal to unity, and is known as the normal or standard potential. Once the normal electrode potential on the standard reference scale is known, the Nernst equation permits a calculation of what the equilibrium electrode potential will be when the system has any $\{M_i\} \neq 1$. Extensive analytical treatments of this subject are given by Conway (1965), De Groot (1951), Grahame (1947), Guggenheim (1929), Parsons (1954), Prigogine (1947), et al. Experimental proof of the validity of the Nernst equation in molten media is given by Blander et al. (1959), Duke and Garfinkel (1961), Gordon (1899), Ranford and Flengas (1965) and many other workers.

THE TAFEL RELATIONSHIP

Considering now the dynamic side of the phenomenon, particular importance will be attached to electrochemical kinetic studies. A classic relationship precisely relating a characteristic parameter of the electrode, its electrochemical potential, and the current density traversing it, is that found by Tafel in 1905. Thereby this semi-empirical law enables us to establish a connection between the «thermodynamic electrode potential» and the current density which defines the kinetic character of the phenomenon.

The Tafel equation may be written

$$E = a + b \log i \qquad (9)$$

where E is the relative electric potential of the electrode at a current density i (also called «reaction electrode potential»), a is a constant characteristic of the electrode, and b is the Tafel slope, which is one of the parameters indicating the mechanism of the electrode reaction.

Thus, a definition of overpotential for the reaction can be introduced by the expression:

$$\eta = E - E_0 \qquad (10)$$

where E_0 is the reversible or equilibrium electric potential possessed by the electrode at electrochemical equilibrium (i.e. at zero imposed current) or, more generally, the equilibrium potential of the electrochemical reaction of the type (4). Equation (10) defines the overpotential and considering (9) it is seen that Tafel's equation is itself closely related to the overpotential (η). These problems of electrochemical kinetics are discussed in more detail later.

The brief discussion given above is significant enough for the present purpose of showing that the Tafel relationship leads to the experimental polarization curves. Figures 1 and 2 represent the anodic and cathodic potential-current curves for two typical electrochemical reactions, with either an arithmetic scale for the reaction--current (Figs. 1-a and 2-a) or with a logarithmic one (Figs. 1-b and 2-b). The exchange current density (i_0), which is defined as the exchange rate per unit area of the potential-determining electrode process at equilibrium, is represented in Figs. 1-b and 2-b. The aspect of the polarization curves is very important, because it gives an account of the degree of irreversibility of the reactions. In fact, in the case of a reversible reaction (Fig. 1), the application of very small polarizing potentials is sufficient for producing significant densities of current. In the case of irreversibility (fig. 2), on the contrary, the existence of high overpotentials is a measure of the extent of the irreversibility. The reversible or fast electrode processes exhibit high exchange current densities; on the other hand, the irreversible or slow ones exhibit low exchange current densities. Thus, if an electrode is more likely to behave reversibly the higher is its intrinsic exchange current density.

The Tafel curves, giving E as a function of log i, also provide interesting results about the kinetics of the phenomena. In fact, the plot of E against logi is not usually a staight line, i.e. the kinetics of the reaction does not obey the Tafel Law. The experimental curves obtained can be considered as built up of rectilinear portions, or on the contrary as showing systematic departures from the linear Tafel law for certain current densities reached. It is well established in electrochemistry that the Tafel law does not apply precisely for small and large current densities. One reason for this is that the Tafel equation is derived purely by considering the overvoltage due to polarization caused by activation energy requirements, which assumes that a cation moves away from the metal--fused electrolyte interface as soon as it is dissolved. This is generally not the case. The removal of the anodic products does not increase in the same proportion as the current density and the concentration of these products will increase and cause a back e.m.f. This efect is particularly relevant in the case of fast electrode processes as observation of the Figures 1 and 2 shows: — The difficulty in obtaining a pure Tafel slope, i.e. unaffected by double layer and mass transfer effects, increases with the kinetics of the electrode processes (i.e., with high i_0) due to increasing overlapping of the diffusion zones over the Tafel one. Polarization measurements also include ohmic overpotential which arises from an I R drop through a portion of the electrolyte between the test electrode and the reference one, but this term is not significant in molten media as compared with an aqueous system. The validity of Tafel's equation has been verified by Laitinen and Gaur (1957), Randles and White (1955), et al. for many fused systems.

The facts mentioned above are very important especially due to their repercussion on the interpretation of electrochemical phenomena. So it is seen, by this simple enumeration, that it is possible to connect thermodynamic considerations to kinetic ones.

GENERAL CONSIDERATIONS OF ELECTRODICS OF CORROSION

In section above, when some concepts of electrode kinetics where discussed, a quantity of crucial importance to electrodics was defined: the overpotential (η). In electrochemical kinetics the only reaction directly affected by the potential is the charge-transfer reaction, i.e. the reaction in which charge carriers are transferred across the electochemical double layer at a phase boundary. The rate of the charge-transfer reaction determines the charge-transfer, or activation overpotential. This kind of overpotential has been treated in detail by Audubert (1942), Bockris (1954), Butler (1924), Conway (1965), Erdey--Gruz and Volmer (1930), Gerischer (1960), et al.

Prior to discussion it is noted that only the basic electrodic equations will be considered. Considering the conversion of M^+ ions into metallic M, the number of moles of positive ions reacting per second by crossing unit area of the melt/metal interface is proportional to the electronation-current density i — and as a first approximation (Erdey-Gruz and Volmer 1930):

$$\begin{aligned} i_- &= -K'_- \{M^+\} \exp(-\Delta \tilde{G}^*_- / RT) \\ &= -K'_- \{M^+\} \exp(-\Delta G^*_- / RT) \exp - \\ &\quad - [(1-\alpha) FE / RT] \\ &= -K_- \{M^+\} \exp[-(1-\alpha) FE / RT] \qquad (11) \end{aligned}$$

$\Delta \tilde{G}^*_-$ is the activation energy required for the electronation process at the potential E, K'_- and K_- are constants $\{M^+\}$ is the activity of cations M^+ on the melt side of the interface, ΔG^*_- is the chemical activation free energy barrier when there is zero electric field acting on the ion, and α is the thansfer coefficient for the de-electronation reaction introduced by Erdey-Gruz and Volmer (1930) which has values ranging from zero to unity ($0 < \alpha < 1$) (Vetter 1952). K_- is dependant on the reference potential chosen since $K_- = K'_- \exp(\Delta G^*_- /$

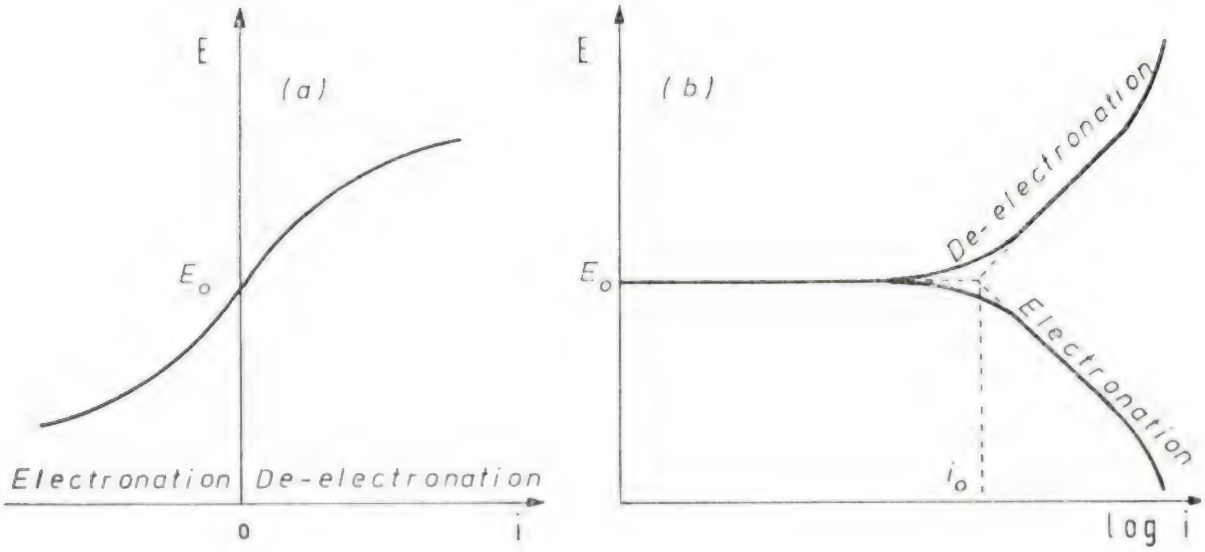


Fig. 1 — Polarization curves of a fast electrochemical reaction

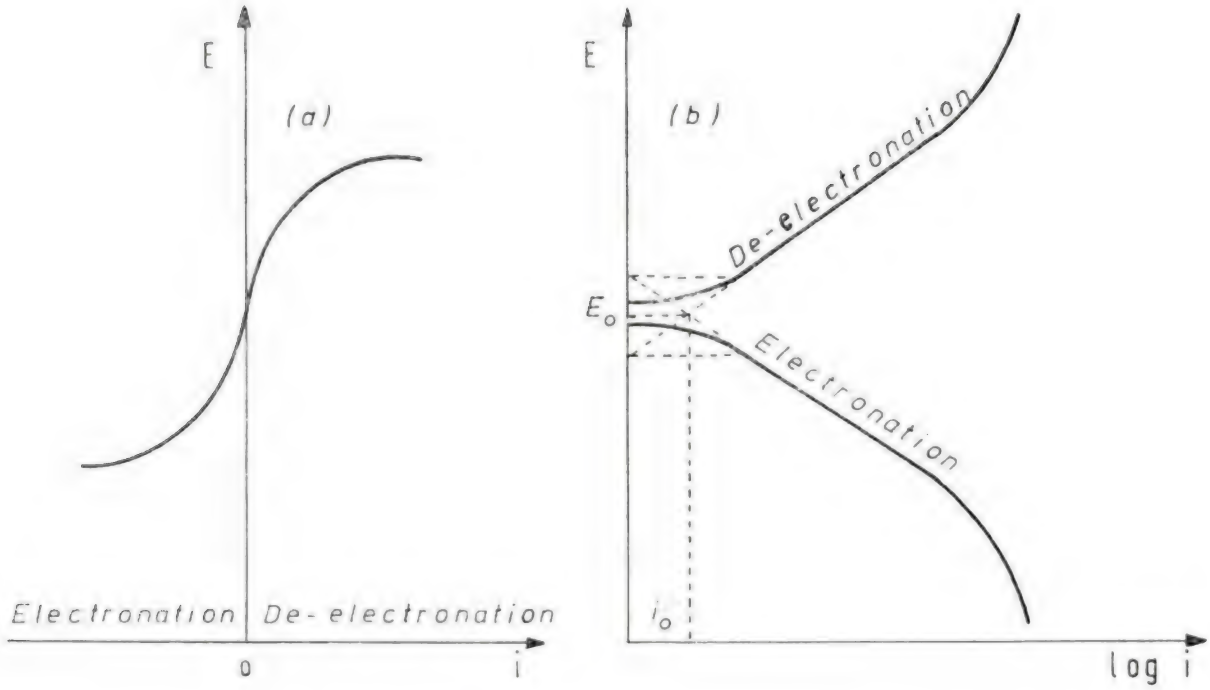


Fig. 2 — Polarization curves of a slow electrochemical reaction

/ R T). Moreover, positive ions can move from the melt to the electrode and also in the opposite direction. Thus, there is an electronation reaction

$$M^+ + e^- \rightarrow M$$

and also a de-electronation reaction

$$M \rightarrow M^+ + e^-$$

In this case, the total current density passing through the double layer is

$$i = i_+ + i_-$$

$$= K_+ \{M\} \exp (\alpha F E / R T) - K_- \{M^+\} \exp [-(1 - \alpha) F E / R T] \quad (12)$$

{M} is the activity of the metallic atoms immediately at the electrode surface (unity). If the metal-melt interface reaches its equilibrium state there is no net current ($i = 0$) but there is an exchange current. The electronation and de-electronation reactions continue to occur-but at the same rate. The current densities corresponding to these individual reactions become the exchange current density i_0 ($i_0 = i_+ = | i_- |$). Hence,

$$i_0 = i_+ = K_+ \{M\} \exp (\alpha F E_0 / R T)$$
$$= - i_- = K_- \{M^+\} \exp [- (1 - \alpha) F E_0 / R T] \quad (13)$$

where E_0 is the potential difference across the interface at equilibrium. On dividing equation (12) by the corresponding expressions in equation (13) and taking into consideration the definition for overpotential $\eta = E - E_0$, the following important relationship is obtained (Erdey-Gruz and Volmer 1930):

$$i = i_0 \{ \exp (\alpha F \eta / R T) - \exp [- (1 - \alpha) F\eta / R T]\} \quad (14)$$

For higher charge-transfer overpotentials $| \eta | >> R T / F$ the first or second term on the r.h.s. of equation (14) can be neglected depending on the sign of the current so that if this equation (14) is put into a logarithmic form a linear relationship results between η and log i | i | similar to the Tafel equation:

$$\eta_+ = - \frac{2.3026\ R T}{\alpha F} \log i_0 + \frac{2.3026\ R T}{\alpha F} \log i_+$$

or (15)

$$\eta_- = + \frac{2.3026\ R T}{(1 - \alpha)\ F} \log i_0 - \frac{2.3026\ R T}{(1 - \alpha)\ F} \log | i_- |$$

Here the subscripts «+» and «-» to the overpotential denote anodic and cathodic polarisation respectively.

APPLICATION TO MOLTEN SULPHATES

Let us now consider the following reaction of a metal M in a molten sulphate (Burrows and Hills 1966):

$$M + \frac{1}{2} SO_3 - M^+ + \frac{1}{2} SO_2 + \frac{1}{2} O^{2-} \quad (16)$$

This overall reaction can be considered as the sum of the two half reactions:

$$M = M^+ + e^- \quad (17)$$

$$\frac{1}{2} SO_2 + e^- = \frac{1}{2} SO_2 + \frac{1}{2} O^{2-} \quad (18)$$

For these two processes to take place simultaneously, it is necessary and sufficient that the potential difference across the interface be more positive than the equilibrium potential for the reaction (17)

$$E_{0,17} = E^\circ_{0,17} + \frac{2.3\ R T}{F} \log \{M^+\}$$

and more negative than the equilibrium potential of the electronation reaction (18) involving electron acceptors (such as SO_3) contained in the melt

$$E_{0,18} = E^\circ_{0,18} + \frac{2.3\ R T}{2 F} \log P_{SO_3} / P_{SO_2} - \frac{2.3\ R T}{2 F} \log \{O^{2-}\}$$

The behaviour for the potential-current curve E (I) which can be envisaged for the process (16) is illustrated in Fig. 3 by the continuous thick line. I (E) is composed additively of the metal-dissolution current I_{17} (E) and the electronation current I_{18} (E), and the two are independent of each other at the same potential value. This principle of additive combination of all partial processes at an electrode surface to obtain the total potential-current curve was first formulated by Wagner and Traud (1938). The potential E at zero current is neither $E_{0,17}$ nor $E_{0,18}$, but a so-called mixed potential (E_M) for which the total potential-current curve gives I (E_M) = 0. The total metal-dissolution current I_{17} and electronation current I_{18} are then equal in magnitude but opposite in sign, i.e.,

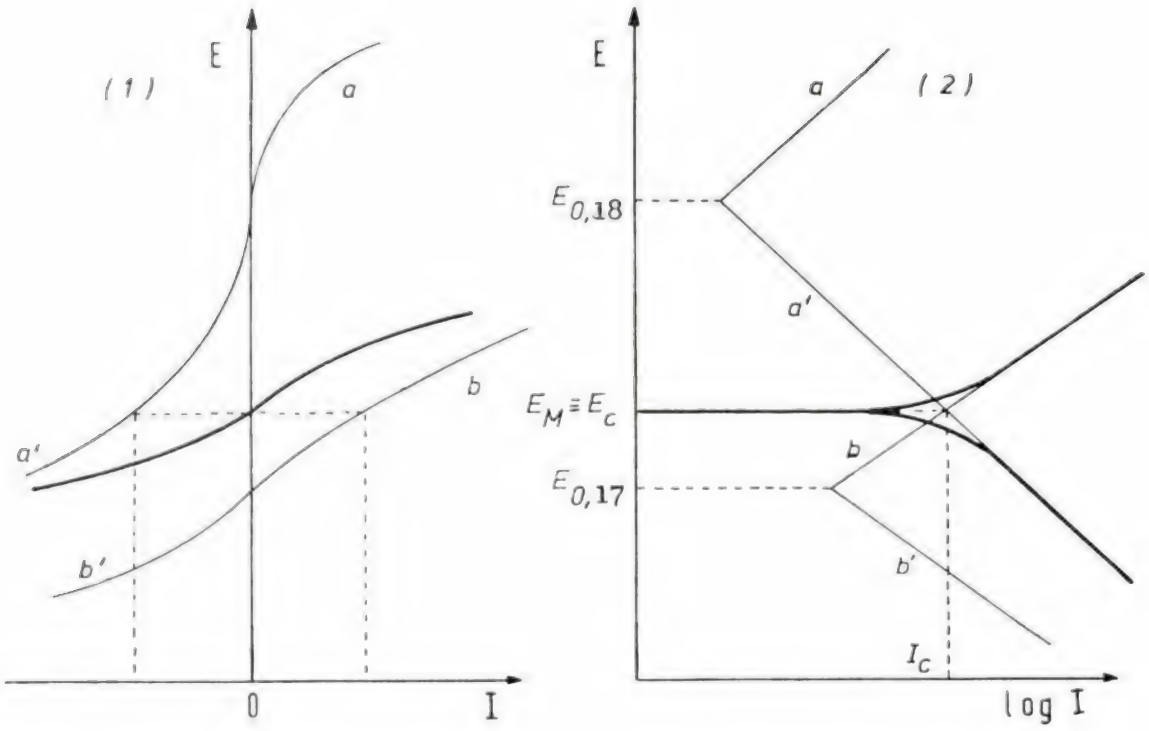
$$I_{17} = - I_{18}$$

The rate of corrosion of the metal is obviously given directly by the rate of metal dissolution; hence, the free corrosion current I_c (i.e., the rate at which a metal destroys itself) is given by

$$I_c = I_{17} = - I_{18}$$

Considering the electrode kinetics, we can thus write:

$$I_c = I_{17} = A_{17}\ i_{17} = A_{17} (i_{+,17} + i_{-,17})$$
$$- A_{17} K_{+,17} \{M\} \exp (\alpha_{17} F E_c / R T) -$$
$$- A K_{-,17} \{M^+\} \exp [- (1 - \alpha_{17}) F E_c / R T] \quad (19)$$



$\frac{1}{2} SO_2 + \frac{1}{2} O^{2-} \longrightarrow \frac{1}{2} SO_3 + e^- \ (a)$

$M \longrightarrow M^+ + e^- \ (b)$

$\frac{1}{2} SO_3 + e^- \longrightarrow \frac{1}{2} SO_2 + \frac{1}{2} O^{2-} \ (a')$

$M^+ + e^- \longrightarrow M \ (b')$

Fig. 3 Corrosion of a metal M in a molten sulphate, with SO_2-evolution. Anodic and cathodic polarisation curves. Corrosion-potential and corrosion-current.

(1) Representation with an arithmetic scale for the reaction-current.

(2) Representation with a logarithmic scale for the reaction-current.

$$I_c = -I_{18} = -A_{18} K_{+,18} P_{SO_2}^{\frac{1}{2}} \{O^{2-}\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\exp(\alpha F E_{18c} / R T) +$$

$$+ A_{18} K_{-,18} P_{SO_3}^{\frac{1}{2}} \exp[-(1-\alpha_{18}) F E_c / R T] \quad (20)$$

where A_{17} is the sink area and A_{18} is the electron-source area (at the interface metal-electrolyte). Assuming that overpotentials are sufficiently large, equations (19) and (20) become

$$I_c = I_{17} = A_{17} K_{+,17} \{M\} \exp(\alpha_{17} F E_c / R T)$$

$$I_c = -I_{18} = A_{18} K_{-,18} P_{SO_3}^{\frac{1}{2}} \exp[-(1 - \alpha_{18}) F E_c / R T]$$

The free corrosion potential, E_c ,i.e. the uniform potential difference over the surface of the corroding metal can be evaluated from the expressions above; it follows that:

$$E_c = \frac{2.3 R T}{[\alpha_{17} + (1-\alpha_{18})] F} \log \frac{A_{18} K_{-,18}}{A_{17} K_{+,17} \{M\}} + \frac{2.3 R T}{[\alpha_{17} + (1-\alpha_{18})] F} \log P_{SO_3}^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

It is clear from this that the free corrosion potential and the mixed potential are identical.

In accordance with the theory of Lux (1939) and Flood et al. (1952) who assign a definite acid-base equilibrium to all oxyanionic melts, the acid-base equilibria for sulphates can be expressed by the equation

$$SO_2^{4-} = SO_3 + O^{2-} \quad (22)$$

and by the equilibrium constant

$$K_{22} = P_{SO_3} \{O^{2-}\} \{SO_4^{2-}\}^{-1} \quad (23)$$

Assuming $\{SO_4^{2-}\} = 1$, it follows that

$$\log P_{SO_3}^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \log K + \frac{1}{2} pO^{2-} \quad (24)$$

where $pO^{2-} = -\log\{O^{2-}\}$ is a nonprotonic function which measures the acidity of the melt. The expression (24) for the active species SO_3 can be introduced into Eq. (21), giving

$$E_c = \frac{2.3 R T}{[\alpha_{17} + (1-\alpha_{18})] F} \log \frac{A_{18} K_{-,18} K_{18}^{\frac{1}{2}}}{A_{17} K_{+,17} \{M\}} + \frac{2.3 R T}{2[\alpha_{17} + (1-\alpha_{18})] F} pO^{2-} \quad (25)$$

Assuming that the ratio A_{18}/A_{17} as well as α_{17} and α_{18} are constant during the overall corrosion reaction (which is not free from error), equation (25) becomes

$$E_c = a + b\, pO^{2-}$$

a and b being two constants. Thus, we attain a linear relationship between the corrosion potential and the function pO^{2-}, which should be valid for all oxyanionic melts.

What has been presented above is a very elementary account of electrodics of corrosion under quite ideal conditions. The details of the complex corrosion phenomena in real systems is out of the scope of this review.

POTENTIAL – pO^{2-} DIAGRAMS

The major importance of the function pO^{2-} is made clear from theoretical treatments such those published by Edeleanu and Littlewood (1960), and Littlewood (1962), for example. The basis of these studies rests on the usefulness of the diagrams resembling those of Pourbaix an his collaborators (1966) for corrosion in aqueous solutions, with the modification that the basicity of the system is written in terms of pO^{2-} instead of pH. The diagrams E—pO^{2-} give information only on the thermodynamic feasibility of electrode reactions. It follows that it is not possible to draw conclusions from the diagrams on whether slow kinetic steps inhibit corrosion, or whether passivity will practically not occur because of a rapid dissolution rate of the surface film. This inconvenience is, however, eliminated by means of the polarization curves: electrode potentials vs. current densities applied to the electrode. Therefore it is appropriate to consider that the static aspect stresses the potential-pO^{2-} diagrams and that the dynamic aspect stresses the potential-current density curves.

The construction of the equilibrium diagrams E-pO^{2-} is based on the well-known method used by Pourbaix in his E-pH diagrams (Pourbaix 1949). The principle of the graphical representation E-pO^{2-} is quite simple, but its application sustains a certain number of difficulties. In fact, if one wants to draw the diagram for a metal-oxyanion melt system, for example, it is necessary to outline the complete inventory of all the likely products of formation and to know the thermodynamic data relevant to these compounds. This basic work being done, it will be necessary to examine all the possible reactions between the compounds considered. In order to make the construction as systematic as possible, any reaction in which substance A is changed into substance B is written in a form such that the only other species appearing are solvent ions, R*, oxide ions, O^{2-}, and anions, e^-. Such reactions therefore have the following general form, all symbols being collected on one side:

$$a A + b B + c R - m O^{2-} + n e^- = 0 \quad (26)$$

and it was shown in section on The single potential of an electrode that the corresponding conditions of equilibrium can be expressed in the form

* The symbol R is used here to represent the reducilbe or and oxidizable species resulting from the acid-base dissociaton of the ruelt.

$$a\mu_A + b\mu_B + c\mu_R - m\mu_{O^{2-}} - n\,F\,E_{0,26} = 0$$

$E_{0,26}$ being defined by the relation (7), which for the present case becomes:

$$E_{0,26} = E^{\circ}_{0,26} + \frac{2.3\,R\,T}{n\,F}\,[a \log \{A\} + b \log \{B\} + c \log \{R\}] + \frac{2.3\,R\,T}{n\,F}\,m\,pO^{2-} \qquad (27)$$

It is therefore possible to consider several classes of reactions:

1. Reactions in which e^- anions do not take part. Equilibrium in these reactions depends or does not depend on pO^{2-} depending on whether $m \neq 0$ or $m = 0$ respectively. These reactions are, of course, purely chemical reactions.
2. Reactions in which e^- anions take part. These reactions are electronation-deelectronation reactions; therefore they are electrochemical reactions. Equilibrium in these reactions is given by expression (27). If the coefficient m is equal to zero the equilibrium condition (27) is independent of pO^{2-}; if $m \neq o$ equilibrium depends on both pO^{2-} and potential.

In these conditions, on the diagram one meets a series of staight lines having several positions. For example, reactions without de-electronation involving O^{2-} ions are represented by vertical lines; reactions with de-electronation in which O^{2-} ions do not take part are represented by horizontal lines; in the other cases, the lines will have variable slopes depending on the values m and n. These group of lines divide the field of the diagram into several domains, each corresponding to the domain of thermodynamic stability of the particular species.

Let us reproduce as an example the essential steps relative to the construction of a diagram E/pO^{2-} for Ni in Na_2SO_4 at 900°C. Following the above principles, the energetically probable products of the assumed reactions between the melt and the metallic nickel in contact with it are envisaged. The species and their free energies of formation are given in Table I. The standard free energies of formation (μ_i°) at 900°C for the species considered were calculated from equations given by Nagamori and Ingraham (1970) and Kubaschewski et al. (1967). The question of existence or non existence of the compounds considered in the table is not relevant here, because the example is only presented to illustrate the procedure for constructing the diagrams. Details of this particular case are given by Sequeira and Hocking (1975). Therefore the reactions are classified following the adopted principle and were assembled in Table II.

Figure 4 shows, the conditions of stability for nickel, its oxides, sulphides and ions, and the domain of thermodynamic stability of the sulphate melt at 1 atm. total pressure (assuming that the three extreme lines (b), (c), (d), for which $P_{O_2} = 1$ atm., $P_{SO_2} = 1$ atm. and log $\{S^{2-}\} = -6$ respectively, determine the potentials limiting the stability of the sulphate melt). To make easy the understanding of these diagrams the lines referring to the several reactions will carry the same letter as the equilibrium equation they represent. Moreover, when necessary, the families of lines referring to a particular equilibrium where the ionic activities have certain given values will be drawn. For example, for the reaction (a), one meets the family of lines referring to log $\{Ni^{2+}\}$ values of 0, −2, −4, −6. In this case, activities are indicated on each line of the family. If it is assumed, as by Pourbaix (1949) for aqueous solutions that a metal does not corrode unless the substance forming on its surface has a solubility in excess of an arbitrary * value of 10^{-6} in the

TABLE I

Free energy data for the species present in the Ni − Na_2SO_4 system at 1173°K

Formula	Standard State	$-\mu^{\circ}$ (kcal/mole)
Ni	solid metal	13.5538
Ni^{2+}	Solid metal ion	56.4713
Ni O	solid oxide	75.8961
Ni S	solid sulphide	47.4616
Ni_2S_3	liquid sulphide	118.0500
O_2	gas, 1 atm.	63.033
O^{2-}	solid oxide ion	− 74.1327
S^{2-}	solid sulphide ion	− 88.3458
SO_2	gas, 1 atm.	148.4475
SO_3	gas, 1 atm.	177.5087

TABLE II

Electrochemical reactions and their equilibrium conditions for the Ni − Na_2SO_4 system at 1173 °K

Reactions in which e anions do not take part:

(a) $$Ni\,O = Ni^{2+} + O^{2-}$$

$$\log \{Ni^{2+}\} = -17.33 + pO^{2-}$$

Reactions in which e^- anions take part:

(b) $$\frac{1}{2}\,O_2 + 2\,e^- = O^{2-}$$

$$E_0 = -2.2891 + 0.0582 \log P_{O_2} + 0.1163\,pO^{2-}$$

(c) $$SO_3 + 2\,e^- = SO_2 + O^{2-}$$

$$E_0 = -4.5135 - 0.1163 \log P_{SO_2} + 0.2326\,pO^{2-}$$

* This limiting concentration is suggested by the argument that from initial corrosion a concentration of 10^{-6} of metal ions s established very rapidly in the electrolyte. If the electrolyte is not connuously renewed, the maintenance of this metal concentration does not represent a serious loss.

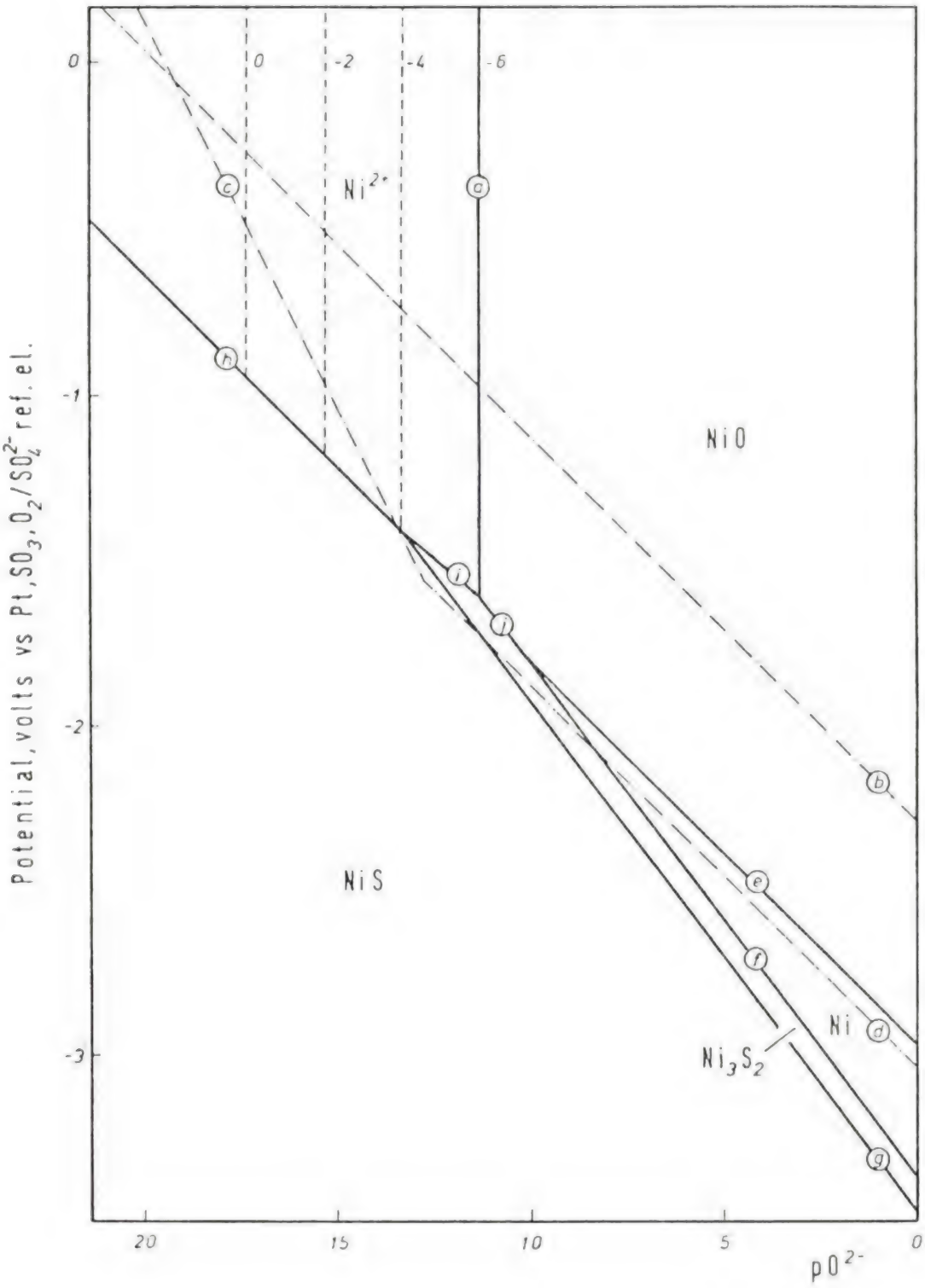


Fig. 4 — Equilibrium nickel-sodium sulphate at 900° C

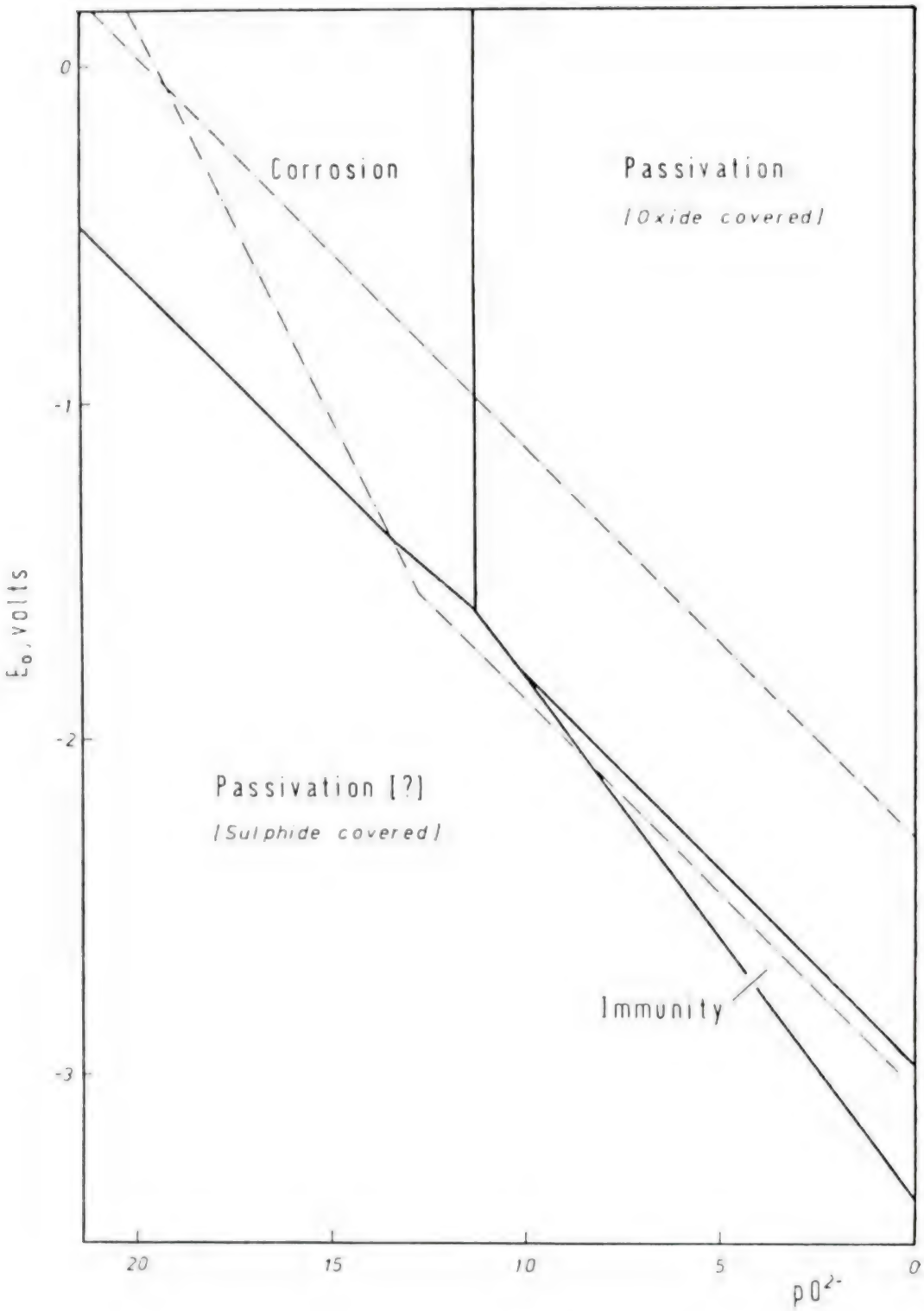


Fig.5 — Theoretcal conditions of corrosion, immunity and passivat ion for nickel

(d) $SO_3 + 8\,e^- = S^{2-} + 3O^{2-}$

$E_0 = -3.2145 - 0.0291 \log \{S^{2-}\} + 0.1163\ pO^{2-}$

(e) $NiO + 2\,e^- = Ni + O^{2-}$

$E_0 = -2.9574 + 0.1163\ pO^{2-}$

(f) $3\,Ni + 2\,SO_3 + 12\,e^- = Ni_3S_2 + 6\,O^{2-}$

$E_0 = -3.3677 + 0.1551\ pO^{2-}$

(g) $Ni_3S_2 + SO_3 + 6\,e^- = 3\,NiS + 3\,O^{2-}$

$E_0 = -3.4714 + 0.1551\ pO^{2-}$

(h) $Ni^{2+} + SO_3 + 8\,e^- = NiS + 3\,O^{2-}$

$E_0 = -2.7848 + 0.0291 \log \{Ni^{2+}\} + 0.1163\ pO^{2-}$

(i) $3Ni^{2+} + 2SO_3 + 18\,e^- = Ni_3S_2 + 6\,O^{2-}$

$= -2.5551 + 0.03876 \log \{Ni^{2+}\} + 0.10337\ pO^{2-}$

(j) $3NiO + 2SO_3 + 18\,e^- = Ni_3S_2 + 9O^{2-}$

$E_0 = -3.2309 + 0.14214\ pO^{2-}$

appropriate concentration units, the line representing this solubility on the potential — pO^{2-} diagram divides it into two domains; one of non-corrosion and one of corrosion. Yet similarly to aqueous systems (Pourbaix 1949), the domains of noncorrosion can be divided into domains of immunity (where the surface of the metal only consists of the metal itself) and domains of passivity (where the metal is covered with a complex film). The existence of the domains of stability shown in Fig. 4 and the assumptions above allows the prediction that, according to the pO^{2-} of the melt and the electrodo potential of the nickel, it will be, as shown in Fig. 5 (which is easily derived from Fig. 4), in a state of total protection (by either immunity or perfect passivation) or of localized corrosion (in the case of imperfect passivation) or of generalized corrosion (in the domain of corrosion).

Further details on these diagrams are beyond the scope of this paper and for the practical employment of these methods the reader is referred to the several works published over the last few years (Baudo and Tamba 1969, Bombara et al. 1968, Busson et al. 1967, Conte and Ingram 1968, Lewis 1971, Littlewood 1962 a, b, Rahmel 1968, Sequeira and Hocking 1975, et al.).

It should be noted once more that the domains of thermodynamic stability considered above give only a theoretical possibility of existence, not a certainty. In particular as far as passivation is concerned, it must be pointed out that a proper passivity in molten media has not been obtained up to date, perhaps due to special properties of the film involved, mainly adherence and coherence.

POLARIZATION MEASUREMENTS AND FREE CORROSION RATES

In this section an account is given of the available methods for obtaining the potential-current curves as well as the free corrosion rates.

It is customary to classify the electrochemical methods for obtaining such potential-current curves into potential-sweep, current-sweep, potential-step and current-step methods. The former method, sometimes called potentiodynamic (or potentiokinetic) polarization, is accomplished by continuously changing the applied electrode potential (with feedback control) at a constant rate and simultaneously recording current. In the current--sweep (intensiokinetic) methode, the electrolysis current (with feedback control) is varied with time according to a given programme, and the electrode potential is recorded as a function of current. In the potential-step method, electrode potential is rapidly changed over a finite increment, and current measured after a predetermined time interval, and this process is repeated. In the last (above) method, a current step is applied, and the resulting variation of potential with time is recorded. These two step methods are also referred to as potentiostatic and galvanostatic (or intensiostatic) respectively, to indicate that at any instant E (or I) is held constant, by means of feedback control.

All the polarization methods described above are well established in the ambient temperature range (Edeleanu 1958, Greene 1962, Greene and Leonard 1964, Pourbaix and Vandervelden 1965, and Prazak 1963) for electrochemical studies of metals, the best or most accurate of them depending of course, on its intended use: if the purpose is to study kinetics phenomena, the methode in which the electrode potential is controlled are the best; when the permanent physico-chemical modifications, due to the applied current, are the objective, the methods in which the electrolysis-current is controlled are preferable. Generally speaking, however, potential-step and potential sweep methods will be more useful for study of corrosion phenomena than current-step and curren-sweep methods, because they give more precise indications concerning the quality of the passivation and concerning the conditions of activation. The investigation of corrosion processes in melts by these standard electrochemical techniques seems more limited (Arvia et al. 1971, 1972 a, b, Baudo et al. 1970, Casino et al. 1971, Davis and Kinnibrugh 1970, Delarue 1959, Janz and Conte 1964, Kazantsw et al. 1968, Pizzini and Agace 1965, Pizzini et al. 1964) than in aqueous systems; howwever, almost all workers in the field of high-temperature agree that the polarization methods appear to be quite suitable in corrosion studies at high temperatures in molten electrolytes.

The polarization curves have several shapes, but near the potential axis their character is similar to that shown by the curves plotted in Figures 1 and 2.

A potentiodynamic polarization curve provides a graphic summary of the corrosion characteristics of tested material so that its plot and evaluation can be used as a very rapid and practically nondestructive corrosion test. However, the corrosion characteristics obtained are accurate only for the medium in which the curve was. obtained. The importance of the method, therefore, does not lie in any final evaluation of the rates of corrosion in a particular medium, but rather in the rapid evaluation of fundamental corrosion properties with the possibility of

sensitive, relative comparison (Prazak 1963). Another feature of the method is that analysis of such potential -current curves, together with the E-pO^{2-} diagrams, enables us to predetermine those reactions theoretically possible and impossible for each electrode potential value.

One of the most important electrochemical values for the determination of the kinetics and mechanisms of primary corrosion processes is the value of the free corrosion current. When the pimary corrosion process is slow (absence of concentration polarization) the free corrosion current can be obtained by potentiodynamically polarizing the alloy electrode at a very low sweep rate, in the neighbourhood of the free corrosion potential. The alloy-dissolution rate is obtained by plotting potential vs log current and extrapolating the linear anodic and cathodic branches to the free corrosion potential, the intercept giving the free corrosion current. This method can also be applied when some (relatively small) concentration polarization is present; the latter can be taken into account by using the approximate expression:

$$I = \frac{I_{meas.} \times I_d}{I_d - I_{meas.}}$$

where $I_{meas.}$ is the measured current in the presence of concentration polarization and I_d is the diffusion current (of course this correction implies the exact knowledge of the diffusion current). When the primary corrosion processes are sufficiently fast, relaxation methods must be used. The objective of these methods is the study of the electrode processes before they become diffusion controlled. The experimental techniques associated with these methods are very complex, but they are the most important ways which permit accurate determinations of fast charge transfer corrosion rates. The principal relaxation methods for these measurements have been considerably revised in the last few years (Graves and Inman 1970), and a useful exposition of the «classical» relaxation methods is that of Damaskin (1967). The selection of the method to measure the free corrosion currents, depending precisely on rate phenomena, is obviously difficult (because the values of these corrosion rates are not known a priori).

In general the high temperatures of fused salt systems cause most corrosion processes to be rapid (reversible with respect to the non-relaxation methods). Generally speaking, thereby, relaxation methods will be the most appropriate for the determination of corrosion rates in melts.

The measurement of free corrosion rates in molten salt systems is reported by Baudo et al. (1970), and by Cutler (1971). The first workers determined the corrosion rates using the conventional method, extensively and successfully applied at low temperatures in aqueous systems; they presented the results in the form of Tafel plots but they do not give information on the current--potential measured values from which the plots of E vs log i were obtained. It is rather surprising in view of the relatively high corrosion rates quoted that it had been possible to obtain pure Tafel zones. It is certain that this method enables the measurement of rough values (more of qualitative than quantitative value) of the free corrosion rates, but it is adviseable to put in practice LaQue's opinion that new and more accurate tests should be introduced for a better understanding of the corrosion mechanisms (LaQue 1969). A cyclic potential sweep method is used by Cutler (1971) to determine the free corrosion rates which seems scientifically more appropriate than the conventional one.

The search for an accurate method for the determination of the kinetics and mechanisms of corrosion processes in molten salt systems has led to a study of the recent «aqueous» literature, from where the double pulse potentiostatic (D.P.P.) method improved by Barbier et al. (Amosse et al. 1968, 1970, and Bouteillon et al. 1968) was selected. This method enables a direct reading of the charge-transfer current, it being possible to establish a linear relationship between the potential and the logarithm of the current (which is especially good for extrapolation of the free corrosion currents). Theoretical derivations as well as experimental verifications of the merits of the D.P.P. technique to the measurement of the free corrosion rates in melts will be provided by a forthcoming paper.

CONCLUSION

In this paper, a glance at the essential elements concerning the electrochemistry of corrosion phenomena in molten salts was given. The electrochemical equilibrium diagrams as well as the potential-current curves were shown to be two important tools put at the disposal of the scientist for the solution of corrosion problems. These diagrams, which are of a thermodynamic character, can serve primarily as a guide in carrying out such polarization curves and in the interpretation of the results obtained.

The techniques which can be used to obtain the polarization curves as well as the corrosion rates were briefly described. It was shown that the potentiodynamic measurements are particularly important in the evaluation of a series of experimental alloys. As far as passivation is concerned, analysis of such measurements, together whith non-electrochemical examinations of the corresponding surfaces (e. g. by means of visual observation, electron probe micro-analysis) should inform on their true passivation.

The study of the electrode parameters (exchange currents, Tafel slopes, and equilibrium potentials of the metal-dissolution and electronation reactions) in melts requires the use of the recent relaxation methods; in view of the dependence of the free corrosion rate on these parameters (as is clearly brought out in Figure 3), its accurate measurement must be made using such techniques.

Acknowledgement — The author would like to thank Instituto de Alta Cultura (Lisboa) for the award of a grant, during the tenure of which this paper was written.

SYMBOLS

A	Area of electrode
a	Constant
b	Tafel coefficient, Tafel slope ($\partial E / \partial \log I$)
E	Reactional electrode potential or electric potential of an electrode when it carries a current density (i)
E_c	Free corrosion potential
E_M	Mixed potential
E_O	Single potential of an electrode or electrical equilibrium potential, measured with respect to a standard reference electrode
E'^{o}_{O}	Normal electrode potential, or equilibrium potential E_o when the reactants are all in the standard state
e^-	Electrons
F	Faraday's constant (96.5 KC/mol or 23.06 Kcal/ /volt-mole)
ΔG^*	Chemical free energy of activation
$\Delta \tilde{G}^*$	Electrochemical free energy of activation
I	Total current (i x area)
I_c	Free corrosion current
I_d	Diffusion current
i	Any reacting species; current density
i_O	Exchange current density
K	Equilibrium constant
M_i	Chemical symbol of reactant i
{ M }	Activity of constituent i (thermodynamic concentration)
n	Valency of metal, number of electronic charges on solved-cation
P	Pressure (in atmospheres)
pO^{2-}	Cologarithm of oxygen-ion activity
R	Resistance of the electrolyte; gas constant (1.98 cal/°C)
T	Absolute temperature
α	Symmetry factor
η	Overpotential
μ_i	Chemical potential of constituent i
$\tilde{\mu}_i$	Electrochemical potential of constituent i
μ^o_i	Standard chemical potential of constituent i
Φ	Inner potential
ν_i	Stoichiometric coefficient of constituent i
	Subscripts such as in $E'^{o}_{o,n}$ indicate that the symbol refers to reaction n

REFERENCES

Adam N. K., 1938: «Physics and Chemistry of Surfaces», 2nd ed., Oxford University Press, London.

Amosse J., Bouteillon J. and Barbier M. J., 1968: C. R. Acad. Sci. Paris, *267c*, 22.

Amosse J., Nguyen B. and Barbier M. J., 1970: Electrochim. Acta, *15*, 1967.

Arvía A. J., Podestá J. J. and Piatti R. C. V., 1971: Electrochim. Acta, *16*, 1797.

Arvía A. J., Podestá J. J. and Piatti R. C. V., 1972a: Electrochim. Acta, *17*, 33.

Arvía A. J., Podestá J. J. and Piatti R. C. V., 1972b: Electrochim. Acta, *17*, 889.

Audubert M. R., 1942: J. Phys. et le Radium, *3*, 81

Baudo G. and Tamba A., 1969: Br. Corros. J., *4*, 129.

Baudo G., Tamba A. and Bombara G., 1970: Corrosion--NACE. *26*, 193.

Blander M., Blankenship F. F. and Fnewton R., 1959: J. Phys. Chem., *3*, 1259.

Bockris J. O'M., 1954: «Modern Aspects of Electrochemistry», I, Butterworths, London.

Bombara G., Baudo G. and Tamba A., 1968: Corros. Sci., *8*, 393.

Bouteillon J., Lépinay J. and Barbier M. J., 1968: C. R. Acad. Sci. Paris, *267c*, 801.

Burrows B. W. and Hills G. J., 1966: J. Inst. Fuel, *39*, 168.

Burrows B. W. and Hills G. J., 1970: Electrochim. Acta, *15*, 445.

Busson N., Palons S., Millet J. and Buvet R., 1967: Electrochim. Acta *12*, 1609.

Butler J. A. V., 1924: Trans. Faraday Soc., *19*, 729.

Butler J. A. V., 1940: «Electrocapillarity. The Chemistry and Physics of Electrodes and Other Charged Surfaces», Methuen and Co., London.

Casino R. G., Podestá J. J. and Arvía A. J., 1971: Electrochim. Acta *16*, 121.

Conte A. and Ingram M. D., 1968: Electrochim. Acta, *13*, 1551.

Conway B. E., 1965: «Theory and Principles of Electrode Processes», The Ronald Press Co., N. Y.

Cutler A. J. B., 1971: J. Appl. Electrochem, *1*, 19.

Evans U. R. and Hoar T. P., 1932: Proc. Royal Soc.

Damaskin B. B., 1967: "The Principles of Current Methods for the Study of Electrochemical Reactions", McGraw Hill Book Co., London.

Davis H. J. and Kinnibrugh D. R., 1970: J. Electrochem. Soc., 117, 392.

De Groot S. R., 1951: "Thermodynamics of Irreversible Processes", North Holland Pub. Co., Amsterdam.

Delarue G., 1959: J. Electroanal. Chem., *1*, 285.

Devanathan M. A. V. and Tilak B. V. K. S. R. A., 1965: Chem. Reviews, *65*, 635.

Duke F. R. and Garfinkel H. M., 1961: J. Phys. Chem., *65*, 1627.

Edeleanu C., 1958: J. Iron and Steel Inst., *188*, 122.

Edeleanu C. and. Littlewood R., 1960: Electrochim. Acta, *3*, 195

Erdey-Grúz T. and Volmer M., 1930: Z. Phys. Chemie (A), *150*, 203.

Evans U. R., 1960: "The Corrosion and Oxidation of Metals", Edward Arnold, London.

Evans U. R. and Hoar T. P., 1932: Proc. Royal Soc. London (A), *137*, 343.

Flood H., Förland T. and Motzfeldt K., 1952: Acta Chem. Scand., 6,257.

Gerischer H., 1960: Z. Physik. Chem. (N. F.), 26, 223.

Gordon C., 1899: Z. Phys. Chem., 28, 302.

Grahame D. C., 1947: Chem. Reviews, 41, 441.

Graves A. D., Hills G. J. and Inman D., 1966: "Advances in Electrochemistry and Electrochemical Engineering", 4, 117, Interscience, N. Y.

Graves A. D., and Inman D., 1970: «Electrochemistry - vol. 1 (Specialist Periodical Reports)», p. 166, The Chemical Society, London.

Greene N. D., 1962: Corrosion-NACE, *18*, 136t.

Greene N. D. and Leonard R. B., 1964: Electrochim. Acta, *9*, 45.

Guggenheim E. A., 1929: J. Phys. Chem., *33*, 842.

Janz G. J. and Conte A., 1964: Electrochim. Acta, *9*, 1269.

Kazantsev G. N., Nichkov I. F. and Raspopin S. P., 1968: Soviet Electrochemistry, *2*, 466.

Kubaschewski O., Evans E. LL. and Alcock C. B., 1967: «Metallurgical Thermochemistry», Pergamon Press, London.

Laitinen H. A. and Gaur H. C., 1957: J. Electrochem. Soc., *104*, 730.

LaQue F. L., 1969: J. Electrochem. Soc., *116*, 73 C.

Lewis D., 1971: J. Inorg. Nucl. Chem., *33*, 2121.

Littlewood R., 1962 a: Electrochim. Acta, *7*, 399.

Littlewood R., 1962 b: J. Electrochem. Soc., *109*, 526.

Littlewood R. and Argent E. J., 1962: Proc. Ist Int. Congress on Metallic Corrosion, Butterworths, p. 91.

Lux H., 1939: Z Elektrochem., *45*, 303.

Nagamori M. and Ingraham T. R., 1970: Met. Trans., *1*, 1821.

Parsons R., 1954: «Modern Aspects of Electrochemistry», 1, Butterworths, London.

Pizzini S. and Agace L., 1965: Corros. Sci., *5*, 193.

Pizzini S., Magistris A. and Sternheim G., 1964: Corros. Sci., *4*, 345.

Pourbaix M. J. N., 1949: «Thermodynamics of Dilute Aqueous Solutions», Edward Arnold and Co., London

Pourbaix M. J. N., 1966: «Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions», Pergamon Press, London.

Pourbaix M. J. N. and Vandervelden F., 1965: Corros. Sci., *5*, 81.

Prazak M., 1963: Corrosion-NACE, *19*, 75t.

Prigogine I., 1947: «Thermodynamic Study of Irreversible Phenomena», Deoser, Liège.

Rahmel A., 1968: Electrochim. Acta, *13*, 495.

Randles J. E. B. and White W., 1955: Z. Elektrochem., *59*, 666.

Ranford R. E. and Flengas S. N., 1965: Canad. J. Chem., *43*, 2879.

Sequeira C. A. C., 1974: Ph. D. Thesis, University of London.

Sequeira C. A. C. and Hocking M. G., 1975: Submitted to Corrosion Science.

Tafel J., 1905: Z. Physik. Chem., *50*, 641.

Ukshe E. A,. Bukun N. G., Leikis D. I. and Frumkin A. N., 1964: Electrochim. Acta, *9*, 431.

Vetter K. J., 1952: Z. Naturforschung, *7*, 328.

Wagner C. and Traud W., 1938: Z. Elektrochem., *44*, 391

Resumo dos Artigos publicados na «Técnica» n.º 429

Ano L — Outubro 1975

C. D. U. 007

ANTÓNIO GOUVÊA PORTELA

DO CONHECIMENTO E DA ACÇÃO

Técnica N.º 429 — L — 10-1975, p. 1 a 8

O modo como o homem adquire conhecimento do universo, como o conceptualisa e actua.

C. D. U. 628.5

M. TERESA PONTES

SOBRE A APLICABILIDADE DUM MODELO À PREVISÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Técnica N.º 429 — L — 10-1975, p. 25 a 32

Este artigo destina-se a pessoas que, não estando muito familiarizadas com modelos de previsão de poluição atmosférica, estejam mais interessadas em conhecer as suas potencialidades do que as bases físicas do processo.
Descreve em termos gerais as utilizações mais correntes destes modelos nomeadamente planificação da utilização do solo, avaliação de estratégias de controle e funcionamento de sistemas de alerta.
Os modelos Gaussianos, apesar das suas limitações, têm permitido obter resultados satisfatórios, são de utilização fácil e necessitam pouco tempo de computador, pelo que lhes é dado especial relevo. Referem-se os dados necessários ao funcionamento destes modelos assim como as informações que podem fornecer.
No N. E. E. M. foi desenvolvido um modelo Gaussiano de fontes múltiplas e tem sido realizado trabalho conducente a um modelo geral de previsão de poluição baseado na resolução das equações da camada limite atmosférica e de difusão turbulenta.

C. D. U. 532.543.011.1

F. LACERDA E MEGRE E L. VEIGA DA CUNHA

UTILIZAÇÃO DE MODELOS AERODINAMICOS NO ESTUDO DE PROBLEMAS FLUVIAIS

Técnica N.º 429 — L — 10-1975, p. 13 a 24

A utilização de modelos aerodinâmicos para o estudo de escoamentos com superfície livre é uma técnica que parece ser digna de interesse, por permitir estudar certos problemas fluviais em modelos de muito menores dimensões do que as dos modelos hidráulicos tradicionais proporcionando, assim, grandes economias. Por isso, foi decidido empreender no LNEC, o estudo dos aspectos teóricos e práticos do estabelecimento e exploração dos modelos aerodinâmicos, com vista à avaliação das suas potencialidades e, eventualmente, à preparação da sua futura utilização de rotina.
Neste artigo faz-se um breve resumo histórico dos modelos aerodinâmicos, refere-se o equipamento, materiais e técnicas de construção a que se recorre, apresentam-se os critérios de semelhança mais significativos, dá-se ideia dos condicionamentos e aplicabilidade desses modelos, descrevem-se as operações de taragem e exploração e comparam-se as vantagens e inconvenientes relativos dos modelos aerodinâmicos e dos modelos hidráulicos tradicionais. Por último relata-se a actividade desenvolvida e em curso no LNEC no âmbito dos modelos aerodinâmicos.

C. D. U. 620.19.013:669.018

C. A. SEQUEIRA

BASES ELECTROQUIMICAS DA CORROSÃO METALICA EM MISTURAS FUNDIDAS

Técnica N.º 429 — L — 10-1975, p. 33 a 46

Uma vez apontada a natureza electroquímica da corrosão metálica em meio fundido, descrevem-se os parâmetros teóricos essenciais da termodinâmica e cinética electroquímica da corrosão. Dá-se relevância à electrocinética da corrosão; com base na teoria de «Erdey-Gruz-Volmer» e nos conceitos de ácido e base segundo Lux-Flood, estabelece-se uma relação entre o potencial de corrosão e o cologaritmo da actividade exigeniónica do electrólito fundido. Introduzem-se os diagramas de equilíbrio E-pO^{2-}, cuja construção se faz segundo o método de Pourbaix, de representação de dados termodinâmicos; exemplifica-se com a construção de um diagrama E-pO^{2-} para o sistema Ni-Na_2SO_4 a 900º C. Finalmente, sugere-se que se encare a corrosão metálica nas misturas fundidas, em termos da cinética electroquímica, recorrendo-se às técnicas transientes, usadas em electroanálise, para o estudo da cinética e mecanismos dos processos corrosivos.

Synopsis of articles published in «Técnica» n.° 429

L — October 1975

U. D. C. 628.5

M. TERESA PONTES

A NOTE ON THE APLICABILITY OF A MATHEMATICAL MODEL TO THE PREDICTION OF ATMOSPHERIC POLLUTION

Técnica N.° 429 — L — 10-1975, p. 25 a 32

This paper is mostly intended to potential users of air pollution models and to those more interested in solving a particular problem than on the physical processes involved. It describes in broad terms the more common use of pollution models namely planification of land use, survey on control strategies and alert systems.
Gaussian models are particularly valuable for solving this class of problems as, in spite of their limitations, they lead to adequate results, are simple to use and require little computer time. Reference is made to the input data requirements and to the type of information the model can provide.
A multiple source Gaussian model was developed at NEEM. Work on a general model based on the solution of the atmospheric boundary layer and turbulent diffusion equations is under way.

U. D. C. 007

ANTONIO GOUVÊA PORTELA

ABOUT KNOWLADGE AND ACTION

Técnica N.° 429 — L — 10-1975, p. 1 a 8

How man aquires knowladge about the universe conceptualises it and acts.

U. D. C. 620.19.013:669.018

C. A. C. SEQUEIRA

«ELECTROCHEMICAL BASIS OF METALLIC CORROSION IN MELTS»

Técnica N.° 429 — L — 10-1975, p. 33 a 46

After pointing out the electrochemical nature of corrosion reactions in molten salts, an account of the essential parameters concerning the electrochemical corrosion phenomena is presented. Emphasis is given to the electrodics of corrosion; based on the «Erdey-Gruz-Volmer» theory and on the «acid-base concept» of Lux and Flood a relationship between the corrosion potential and the function pO^{2-} is derived. Diagrams in which the equilibrium potential E in the metal-fused salt system is plotted against the activity of oxide ion in the melt are developed, using the Pourbaix method of data presentation; as an example, an $E\text{-}pO^{2-}$ diagram is constructed for nickel at 900° C, in contact with molten sodium sulphate, and its limited nature as an aid to corrosion control is summarized. The need for study of metal corrosion in terms of electrochemical kinetics is indicated. Further, it is suggested to apply the newer electrochemical tecchniques to the study of corrosion kinetics in high-temperature media.

U. D. C. 532.543.011.1

F. LACERDA E MEGRE E L. VEIGA DA CUNHA

THE USE OF AIR-FLOW MODELS FOR STUDYING RIVER PROBLEMS

Técnica N.° 429 — L — 10-1975, p. 13 a 24

The use of air-flow models for studying open-channel flows seems an interesting techniques, because it permits the study of some river problems with smaller models than the traditional hydraulic ones, thus affording great economy. So, it was decided to start at the «Laboratório Nacional de Engenharia Civil» the study of theoretical and pratical aspects of establishing and using air-flow models, to evaluate their potentialities and, eventually, to prepara their future routine use.
The paper makes a brief historical summary of air-flow models, refers to equipment, material and construcion techniques, shows the most important similar criteria, gives an idea of the restrictions and applicability of air-flow models, describes the problems of its calibration an use and compares the advantages and disadvantages of air-flow models with those of traditional hydraulic ones. Finally it reports on the activity which has been carried out and that is in progress at the LNEC in that field.

Publicações Recebidas

PUBLICAÇÕES PERIÓDICAS

— AGROS
Associação dos Estudantes de Agronomia

— ANNALES DE MECÁNICA Y ELETRICIDAD
Asociacion de Ingenieros del I. C. A. I.

— ASEA — REVUE

— ACTA TÉCHNICA
Academiae Scientiarum Hungariae

— ANAIS DO CLUBE MILITAR NAVAL

— ANALYTICAL ABSTRACTS
Society for Analytical Chemistry

— ACIER - STAHL - STELL

— ANNALES
Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics

— AEG - TELEFUNKEN AL DIA

— AR COMPRIMIDO
Atlas Copco

— BOLETIM DA CÂMARA MUNICIPAL DE SÁ DA BANDEIRA

— BOLETIM ECONÓMICO E FINANCEIRO
Banco Borges e Irmão

— BOLETIM
Instituto Nacional de Investigação Industrial

— BILETIM MENSAL DE INFORMAÇÃO
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

— BULLETIN OF THE SEISMOGRAPHIC STATIONS
University of California

— BOLETIM DEL CEMENTO PORTLAND
Instituto del Cemento Portland Argentino

— BOLETIM GTH
Gabinete Técnico da Habitação da Câmara Municipal de Lisboa

— BOLETIM
Sociedade Geológica de Portugal

— BOLETIM INFORMATIVO IRANOR
Instituto Nacional de Racionalizacion y Normalizacion

— BOLETIM DA ELECTROQUÍMICA E CORROSÃO
Instituto Nacional de Investigação Industrial

— BOLETIM
Departamento de Imprensa e Informação do Governo da República Federal da Alemanha

— BULETINUL
Institutului Politehnic Bucaresti

— BOLETIM
Associação Industrial de Angola

— BULLETIN
Agence Intenationale de L'energie Atomique

— BOLETIM DO PORTO DE LISBOA
Administração - Geral do Porto de Lisboa

— BOLETIM DO SERVIÇO CARTOGRÁFICO DO EXÉRCITO

— BOLETIM DE MINAS
Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos

— BULLETIN DE LA CHAMBRE DE COMMERCE BELGE AU PORTUGAL

— CORTIÇA
Instituto dos Produtos Florestais

— CENIM
Centro Nacional de Investigaciones Metalurgicas

— (JOURNAL OF) CHEMICAL EDUCATION
Division of Chemical Education of the American Chemical Society

— CIMENTO E CONCRETO
Associação Brasileira de Cimento Portland

— COMUNICACIONES ELÉCTRICAS
International Telephone and Telegraph Corporation

— CONSTRUCTI

— CARTA GEOLÓGICA DE ANGOLA
Direcção Pronvincial dos Serviços de Geologia e Minas

— CEMENTO HORMIGÓN

— COURRIER CERN

— COLLECTION
Czechoslovak Academy of Sciences

— DYNA
Asociacion de Engenieros Industriales de España

— EL ESTAÑO Y SUS APLICACIONES
Tin Research Institute

— ELECERICITE DE FRANCE
Direction des Etudes et Recherches

— ELECTRICIDADE
Empresa Editorial Electrotécnica Edel, Lda.

— ENDEAVOUR
Imperial Chemical Industries Limited

— ESTUDOS
Banco Fomento Nacional

— ESTUDOS, NOTAS E TRABALHOS
Serviço de Fomento mineiro

— ELECTRICAL COMMUNICATION
International Telephone and Telegraph Corporation

— ECONOMIC REVIEW
Câmara de Comércio Luso-Britanica

— FUNDIÇÁO
Associação Portuguesa de Fundição

— FUNDEXPORT
Fundo de Fomento de Exportação

— GEOTÉCNICA
Revista da Sociedade Portuguesa de Geotécnica

— INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN
Instituto Eduardo Torroja

— ION
Sindicato Nacional de Industrias Químicas

— INDÚSTRIA DE MOÇAMBIQUE
Associação Industrial de Moçambique

— LA HOUILLE BLANCHE
Société Hydrotechnique de France

— LES NOUVELLES DE L' E. I. B.

— METALLURGIA AND METAL FORMING
National Association of drop Forgers and Stampers

— MACHINE TOOL REVIEW

— NOTICIÁRIO DOS ELASTÔMEROS
du Pont

— ONU (CHRONIQUE MENSUELLE)
Service de L'information de L'organisation des Nations Unies

— O PROPULSOR
Sindicato Nacional dos Oficiais de Marinha Mercante

— PRELO
Imprensa Nacional - Casa da Moeda

— PORTUGAL - ALEMANHA
Câmara de Comércio e Indústria Luso-Alemã

— REVISTA DE CIÊNCIAS-BIOLÓGICAS
Universidade de Lourenço Marques

— REVUE LANDIS E GYR (EDITION ELECTRICITÉ)

— REVUE D'IENA

— REVUE SIEMENS
Siemens Antiengesellschaft

— REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

— LA REACHERCHE AÉROSPATIALE
Office National D'Études et de Recherchse Aérospatiales

— REVISTA DE METALURGIA
Cenim - Centro Nacional de Investigaciones Metalurgicas

— RAIL INTERNATIONAL
Association Internationale du congrès des chemins de fer et de L'Union Internationale des Chemins de fer

— REVISTA TÉCNICA SULZER

— REVISTA DANFOSS

— REVISTA AGRONÓMICA
Sociedade de Ciências Agronómicas de Portugal

— TECHNIQUES FRANÇAISES (BATIMENT TRAVAUX PUBLICS URBANISME)
Services Économiques de L'Embassade de France

— TECHNIQUES FRANÇAISES (CHIMIE GAZ PETROLE)
Services Économiques de L'Embassade de France

— TECHNIQUES FRANÇAISES (INDUSTRIE DE METAUX
Services Économiques de L'Embassade de France

— TECHNIQUES FRANÇAISES (TRANSPORTS)
Services Économiques de L'Embassade de France

— TECHNIQUES FRANÇAISES (CHIMIE GAZ PETROLE) BIENS DE CONSOMMATION)
Services Économiques de L'Embassade de France

— WORLD HEALTH ORGANIZATION PUBLICATIONS
World Health Organization

— WISSENSCHAFTLICHE ZEITSCHRIFT DER HOCSCHULE
Architektur und Bauwesen Weimar

BIBLIOTECA
DO
DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA
MECÂNICA

OFERTA

VICENTE FERREIRA E BRAZÃO FARINHA

TABELAS TÉCNICAS

técnica

REVISTA DE ENGENHARIA DA ASSOCIAÇÃO DOS ESTUDANTES
DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO - LISBOA

7ª EDIÇÃO REVISTA E ACTUALIZADA
PREÇO 250.00
DESC. 10% AOS ASSINANTES

Publicidade com critério.

Anuncie na

técnica REVISTA DE ENGENHARIA